

Masterarbeit

Konzeption eines geologischen 3d-Lagerstättenmodells sowie geologischer Datenverwaltung für den Eisenglimmerbergbau Waldenstein, Kärnten

Bakk. techn. Stefan VOLLGGER



Montanuniversität Leoben, Österreich

Betreuer:

O.Univ.-Prof. Dr.phil. Fritz Ebner

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Heinrich Mali

März 2010

Die vorliegende Arbeit wurde selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe angefertigt. Die verwendeten Quellen und Hilfsmittel sind vollständig zitiert.

*Stefan Vollgger
März, 2010*

Danksagung

Als erstes möchte ich mich bei der Kärntner Montanindustrie, besonders bei dessen Geschäftsführer Graf Andreas Henckel von Donnersmarck für dessen Unterstützung und für die Möglichkeit, eine angewandte montangeologische Arbeit zu verfassen, bedanken. Für den weiteren Beistand seitens der Kärntner Montanindustrie gilt mein Dank Herrn DI Karl Herbert Kassl, DI Jürgen Roth sowie dem in der Zwischenzeit in Ruhestand getretenen ehemaligen Steiger Herrn Weißhaupt Franz.

Für die Unterstützung seitens der Montanuniversität Leoben gilt mein aufrechter Dank Herrn Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Heinrich Mali, der mich Unter- sowie Obertage in allen Belangen unterstützte sowie dem Vater dieser Diplomarbeit, Herrn Prof. Dr.phil. Fritz Ebner.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch Frau Sabine Feuchter, welche für die Dünnschliffpräparation verantwortlich war sowie meiner Studienkollegin Daniela Gallhofer, welche mir bei den durchgeführten Raman-Messungen sowie Kartierungs- und Bohrkernaufnahmearbeiten hilfreich zur Seite stand.

Last but not least möchte ich einen besonderen Dank an Herrn Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Thomas Oberndorfer (Inhaber der Firma Mine-IT) aussprechen, welcher mich umfangreich und fachmännisch bei der Modellerstellung sowie Programmierung der neu entwickelten Datenbankanwendung unterstützte.

Herzlichen Dank & Glück Auf!

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abbildungsverzeichnis | 6 |
| Tabellenverzeichnis | 10 |
| Zusammenfassung | 11 |
| Abstract | 11 |
| 1 Geographische Lage und Geschichte | 12 |
| 2 Eckdaten zum Bergbau Waldenstein | 13 |
| 3 Geologischer Überblick | 15 |
| 4 Geologische Aufnahme | 19 |
| 4.1 Untertagekartierung | 19 |
| 4.1.1 Detailkartierung | 19 |
| 4.1.1.1 9. Unterlauf | 20 |
| 4.1.1.2 Hoffnungsstollen | 24 |
| 4.1.1.3 4. Unterlauf | 26 |
| 4.1.1.4 6. Unterlauf | 28 |
| 4.1.1.5 Alter Pulverturmstollen | 29 |
| 4.1.2 Übersichtskartierung | 30 |
| 4.1.2.1 4. Unterlauf | 30 |
| 4.1.2.2 Hoffnungsstollen | 31 |
| 4.1.2.3 Unterbau | 33 |
| 4.2 Bohrkernaufnahme | 34 |
| 5 Lithologien | 37 |
| 5.1 Marmor - Silikatmarmor | 37 |
| 5.2 Gneis (Paragneis) | 39 |
| 5.3 Glimmerschiefer | 41 |
| 5.4 Kalksilikatschiefer | 43 |
| 5.5 Grünschiefer | 45 |
| 5.6 Eisenglimmer (Hämatit, Spekularit) | 47 |
| 5.7 Pegmatit (Pegmatoid) | 49 |
| 6 Tektonik und Metamorphosegeschichte | 52 |
| 6.1 Strukturgeologische Aufnahme | 54 |
| 6.2 Strukturgeologische Auswertung | 54 |
| 7 Folgerungen für die Geneseinterpretation | 57 |
| 8 Modellerstellung & geologische Datenverwaltung | 59 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 8.1 | Ausgangssituation | 59 |
| 8.2 | Verwendete Software | 60 |
| 8.2.1 | Microsoft Excel | 60 |
| 8.2.2 | Microsoft Access | 60 |
| 8.2.3 | Gemcom SurpacVision 6.1 | 61 |
| 8.2.3.1 | SurpacVision Grundlagen | 62 |
| 8.3 | Vorgehensweise | 65 |
| 8.4 | Geologische Datenverwaltung | 66 |
| 8.4.1 | Kernbohr-Tagesprotokoll | 66 |
| 8.4.2 | Hammerbohrprotokoll | 67 |
| 8.4.3 | Richtlinie zur Bohrloch- und Kernkistenbezeichnung | 68 |
| 8.4.4 | GEOrganizer | 70 |
| 8.4.4.1 | Kernbohrdatenbank | 72 |
| 8.4.4.2 | Kernbohrdaten drucken | 77 |
| 8.4.4.3 | Hammerbohrdatenbank | 78 |
| 8.4.4.4 | Verwaltung der Kartierungsdaten | 80 |
| 8.4.4.5 | Verwaltung der Gefügedaten | 81 |
| 8.4.4.6 | Verwaltung der Betriebspläne | 85 |
| 8.5 | Modellerstellung | 86 |
| 8.5.1 | 3d Darstellung geologischer Daten | 90 |
| 8.5.1.1 | Hammerbohrungen | 90 |
| 8.5.1.2 | Kernbohrungen | 91 |
| 8.5.1.3 | Gefügedaten | 93 |
| 8.5.1.4 | Darstellung als Blockmodell | 95 |
| 8.5.2 | Vorteile der 3d-Modellierung | 96 |
| 9 | Explorationsbohrungen 2009 | 98 |
| 10 | Schwierigkeiten | 100 |
| 11 | Monetäre Bewertung (Kostenvergleich) | 100 |
| 12 | Ergebnisse und Ausblick | 102 |
| | Literatur | 104 |
| | Anhang | 107 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Abb. 1: Geografische Lage Waldenstein (©2009 Google™)..... | 12 |
| Abb. 2: Betriebsgebäude, Aufbereitung und Schloss Waldenstein um 1850 | 12 |
| Abb. 3: Offene Strecken des aktiven Bergbaus mit Horizontenteilung & -benennung Stand Jänner 2010, Y=Nord, X=Ost..... | 14 |
| Abb. 4: Genesemodelle (inkl. deren Vertreter) zur Lagerstätte Waldenstein | 16 |
| Abb. 5: Redoxpotential von Eisen (Quelle www.chemieunterricht.de/dc2/wasser)..... | 17 |
| Abb. 6: Relevante Störungen (rote Flächen) im Bereich Unterlauf 9 Ost (Zusammenhang mit Graben westlich des Schloss Waldenstein), Y = Nord, X = Ost..... | 21 |
| Abb. 7: Aktiver Abbau Sommer 2008 (9. Unterlauf Ost, Blickrichtung NE)..... | 22 |
| Abb. 8: Detailkartierungen im Bereich 9. Unterlauf Ost (Sommer 2008)..... | 23 |
| Abb. 9: Detailkartierungen im Bereich 9. Unterlauf West (Sommer 2008)..... | 24 |
| Abb. 10: Detailkartierungen im Bereich Hoffnungsstollen (Sommer 2008)..... | 25 |
| Abb. 11: Störungsbereich bei unterer Wendel Hoffnungsstollen – 4. Unterlauf..... | 26 |
| Abb. 12: Detailkartierungen im Bereich 4. Unterlauf (Sommer 2008) | 27 |
| Abb. 13: Detailkartierungen im Bereich 6. Unterlauf (Sommer 2008) | 28 |
| Abb. 14: Verbruch bei LFM 21, Alter Pulverturmstollen | 29 |
| Abb. 15: Bereich der Übersichtskartierung 4. Unterlauf | 31 |
| Abb. 16: Bereich der Übersichtskartierung Hoffnungsstollen West..... | 32 |
| Abb. 17: Bereich der Übersichtskartierung Unterbau (Blindschacht 3, Bühne 3) | 33 |
| Abb. 18: Utensilien zur detaillierten geologischen Bohrkernaufnahme | 34 |
| Abb. 19: Bohrkernlager; Zustand vor (links) und nach (rechts) den Arbeiten..... | 36 |
| Abb. 20: Marmor rein (MAR3), leicht alterierter Marmor mit Pyrit (MAR5), phlogopitreicher Silikatmarmor (MAR4)..... | 37 |
| Abb. 21: Dünnschliff MAR4, 40x, Silikatmarmor: Kalzit mit ausgeprägten Zwillingslamellen (Cal), Phlogopit (Phl), undulöser Quarz (Qtz) und euhedraler Pyrit (Py)..... | 38 |
| Abb. 22: Dünnschliff MAR3, 40x, Marmor: Kalzit mit ausgeprägten Zwillingslamellen (Cal) und euhedraler Pyrit (Py)..... | 38 |
| Abb. 23: Granatführender Gneis GN1, Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 7, Bohrmeter 35,3 | 39 |

| | |
|---|----|
| Abb. 24: Dünnschliff GN1, 40x, granatführender Gneis: Biotit (Bt), Muskovit (Ms), feinkörniger Quarz (Qtz) und subhedraler Pyrit (Py) neben einem großen, löchrigen Granat (Grt) | 40 |
| Abb. 25: Epidot und Amphibol führender Gneis GN2, Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 4, Bohrmeter 19,7 | 40 |
| Abb. 26: Dünnschliff GN2, 40x, dunkler Gneis: Biotit (Bt), Quarz (Qtz), Plagioklas (Pl) und Pyrit (Py) | 41 |
| Abb. 27: Dünnschliff GN2, 40x, grüner epidotreicher Gneis: Epidot (Ep) und Pyrit (Py) in undulösem Quarz (Qtz) | 41 |
| Abb. 28: Glimmerschiefer GS1, Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 12, Bohrmeter 61,1 | 42 |
| Abb. 29: Dünnschliff GS1, 40x, karbonatischer Glimmerschiefer: Biotit (Bt), Granat (Grt), Pyrit (Py), Kalzit (Cal) und undulöser Quarz (Qtz)..... | 42 |
| Abb. 30: Kalksilikatschiefer GS3, Bohrkern UL9 Ost 15, Kiste 3, Bohrmeter 16,5 | 43 |
| Abb. 31: Dünnschliff GS3, 40x, epidotführender Kalksilikatschiefer: Biotit (Bt), Pyrit (Py), Epidot (Ep) und Quarz (Qtz)..... | 43 |
| Abb. 32: Dünnschliff GS3, 40x, Kalksilikatschiefer: Biotit (Bt), Pyrit (Py), Epidot (Ep) und Titanit (Ttn) mit Raman-Messpunkte X1 und X2 | 44 |
| Abb. 33: Raman Spektrum EPIDOT, blau: Messergebnis Dünnschliff GS3, Position X1, schwarz: Messergebnis laut Datenbank (www.ruff.info/epidot), Intensitäten (y-Achse) zur besseren Darstellung nicht angeglichen | 44 |
| Abb. 34: Raman Spektrum TITANIT (SPHEN), blau: Messergebnis Dünnschliff GS3, Position X2, schwarz: Messergebnis laut Datenbank (www.ruff.info/titanit), Intensitäten (y-Achse) zur besseren Darstellung nicht angeglichen..... | 45 |
| Abb. 35: Grünschiefer GRSCH1, Bohrkern UB9 Ost 13, Kiste 3, Bohrmeter 12 | 46 |
| Abb. 36: Dünnschliff GRSCH1, 100x, Grünschiefer: Chlorit (Chl), Muskovit (Ms), Pyrit (Py) neben Quarzader (Qtz) | 46 |
| Abb. 37: Pyritreicher Hämatit (ERZ2), vergrünter/chloritisierter Hämatit (ERZ1), Hämatitader im Marmor (ERZ3)..... | 47 |
| Abb. 38: Dünnschliff ERZ1, 40x: Hämatit (Hmt), undulöser Quarz (Qtz), Chlorit (Chl), Pyrit (Py) und Muskovit (Ms) in Lagen sowie als Saum um den Pyrit..... | 48 |
| Abb. 39: Dünnschliff ERZ1, 40x: Nadeln und Bündel des plättchenförmigen Hämatits (Hmt), undulöser Quarz (Qtz), Chlorit (Chl), Pyrit (Py) und Muskovit (Ms) | 48 |
| Abb. 40: Dünnschliff ERZ1, 100x: Fächerförmig kristallisierter Hämatit (Hmt), undulöser Quarz (Qtz), Chlorit (Chl), und Pyrit (Py) mit randlichem Muskovit (Ms)..... | 48 |
| Abb. 41: Dünnschliff ERZ2, 100x: Hämatit (Hmt) in Klüften und am Rand des Pyrit (Py) neben Quarz (Qtz) und Chlorit (Chl)..... | 49 |

| | |
|---|----|
| Abb. 42: Dünnschliff ERZ2, 100x: Euhedraler Pyrit (Py), nadeliger Hämatit (Hmt), Chlorit (Chl) und Quarz (Qtz)..... | 49 |
| Abb. 43: Pegmatit (PEG1), Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 12, Bohrmeter 55,9..... | 50 |
| Abb. 44: Dünnschliff PEG1, 40x: Muskovitpakete (Ms), Quarz (Qtz), Plagioklas (Pl) und Kalzit (Cal) | 50 |
| Abb. 45: Dünnschliff PEG1, 40x: Serizitisierter Feldspat (Plagioklas Pl) neben Quarz (Qtz)..... | 51 |
| Abb. 46: Dünnschliff PEG1, 40x: Epidot (Ep) mit Quarz (Qtz) und Muskovit (Ms)..... | 51 |
| Abb. 47: Polpunkte und Contourplot der Schieferungsflächen aller Gefügemesspunkte für Marmor-Silikatmarmor (links, 400 Messpunkte) und Gneis-Glimmerschiefer (rechts, 140 Messpunkte) | 55 |
| Abb. 48: Eigenvektoranalyse zur Bestimmung der Faltenachse (Eigenvektor 1) für Marmor-Silikatmarmor (links, 400 Messpunkte) und Gneis-Glimmerschiefer (rechts, 140 Messpunkte) 55 | |
| Abb. 49: Contourplot der Störungsflächen; alle Störungen (links), nur Großstörungen (rechts) 56 | |
| Abb. 50: Schematische Darstellung der vererzungskontrollierenden Lithologien und Strukturen für die Lagerstätte Waldenstein | 58 |
| Abb. 51: Datentypen in Gemcom Surpac Vision..... | 62 |
| Abb. 52: Triangulation einer Fläche (links Ergebnis, rechts mit dargestellten Einzeldreiecken) 63 | |
| Abb. 53: String-File Erklärung..... | 63 |
| Abb. 54: Styles für unterschiedliche String- und Objektnummern | 64 |
| Abb. 55: Vorgehensweise zur 3d-Lagerstättenmodellierung und geologischen Datenverwaltung | 65 |
| Abb. 56: Beispiel einer korrekten Kernkistenbezeichnung | 69 |
| Abb. 57: Startfenster des GEOrganizers | 70 |
| Abb. 58: Einstellungen des GEOrganizers | 70 |
| Abb. 59: Kernbohrdatenbank des GEOrganizers..... | 72 |
| Abb. 60: Attributliste der Bohrkern in der Bohrkerndatenbank des GEOrganizers..... | 73 |
| Abb. 61: Eingabemaske zur geologischen Beschreibung der Bohrkernabschnitte | 74 |
| Abb. 62: Eingabemaske für Details einzelner Bohrkernabschnitte | 75 |
| Abb. 63: Anzeige der geologischen Daten aus den alten Bohrprotokollen | 75 |
| Abb. 64: Druckfunktion von Kernbohrdaten des GEOrganizers..... | 77 |
| Abb. 65: Vorschau von Kernbohrdaten in der Druckfunktion des GEOrganizers | 77 |

| | |
|--|-----|
| Abb. 66: Grafische Benutzeroberfläche der Hammerbohrdatenbank..... | 78 |
| Abb. 67: Druck- bzw. Berichtsfunktion der Hammerbohrdatenbank des GEOrganizers | 79 |
| Abb. 68: Kartierungsdatenverwaltung des GEOrganizers | 80 |
| Abb. 69: Abfrage- & Druckfunktion von Kartierungsdaten (GEOrganizer) | 81 |
| Abb. 70: Gefügedatenverwaltung des GEOrganizers..... | 82 |
| Abb. 71: Bestätigung des erfolgreich durchgeführten Gefügedatenexports | 83 |
| Abb. 72: Importfunktion für Gefügedaten im GEOrganizer | 84 |
| Abb. 73: Verwaltung der Betriebspläne im GEOrganizer | 85 |
| Abb. 74: Dreidimensionales Grubengebäude, Y = Nord, X = Ost..... | 87 |
| Abb. 75: Digitalisierung der Firste in Surpac Vision..... | 87 |
| Abb. 76: Dreidimensionales geologisches Modell der Lagerstätte (Stand Dezember 2009) Y = Nord, X = Ost, E-W-Erstreckung ~550m, N-S-Erstreckung ~270m | 88 |
| Abb. 77: Zylindrische, dreidimensionale Bohrlochpfaddarstellung der Hammerbohrungen | 90 |
| Abb. 78: Dreidimensionale Darstellung von Kernbohrungen in Surpac Vision..... | 91 |
| Abb. 79: Grafische Detaildarstellung einer einzelnen Kernbohrung in Surpac Vision | 92 |
| Abb. 80: Gleiche Ansicht zum Vergleich der Übersichtlichkeit; Anzeige aller Kernbohrungen (links) und nur ausgewählter Kernbohrungen des Reviers Unterlauf 6 (rechts) | 92 |
| Abb. 81: Gefügefläche mit Mittelpunkt (weiß), in welchem alle relevanten Informationen (Richtung, Neigung, Box Size, Objektnummer) gespeichert sind..... | 93 |
| Abb. 82: Darstellung von Gefügeflächen im Bereich Hoffnungsstollen inkl. dreidimensionaler Geologie der Firste..... | 94 |
| Abb. 83: Blockmodell der Lagerstätte Waldenstein (Stand Dezember 2009)..... | 95 |
| Abb. 84: Blockmodell mit integrierten Kernbohrdaten (Stand Dezember 2009) | 96 |
| Abb. 85: Kernbohrungen im Bereich 9. Unterlauf Ost (Stand Dezember 2009) | 99 |
| Abb. 86: Kostenvergleich Kernbohrkosten versus geologische Kosten..... | 101 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|----|
| Tabelle 1: Horizonteinteilung & -bezeichnung (Stand Oktober 2009) | 13 |
| Tabelle 2: Makroskopische Erzeinteilung in 3 Klassen | 18 |
| Tabelle 3: Auflistung der kartierten Bereiche (Sommer 2008) | 20 |
| Tabelle 4: Bereiche der Übersichtskartierung | 30 |
| Tabelle 5: Attribute des Bohrkernaufnahmeblatt detaillierte Geologie | 35 |
| Tabelle 6: Attribute des Kernbohr-Tagesprotokolls | 67 |
| Tabelle 7: Attribute des Hammerbohrprotokolls | 68 |
| Tabelle 8: Messpunktattribute in der Gefügedatenbank des GEOrganizers | 83 |

Zusammenfassung

In den interdisziplinär betriebenen Geowissenschaften besteht die Notwendigkeit, zur Erkennung übergeordneter Zusammenhänge sowie zur Entscheidungsfindung, umfassend auf alle verfügbaren geologischen Daten zugreifen zu können. Die für unterschiedlichste Zwecke erhobenen Daten bilden häufig eine inhomogene Datengrundlage, was zu deren Isolation führen kann. Das Ziel der Arbeit bestand darin, alle für den Eisenglimmerbergbau Waldenstein (Kärnten) verfügbaren geologischen Informationen zu erheben, durch gezielte Gelände- und Laboruntersuchungen zu ergänzen und in einer neu entwickelten zentralen Datenbank (Microsoft Access Datenbank Anwendung namens GEOrganizer) abzulegen respektive damit zu verknüpfen. Die Schaffung dieser Datenbank vermeidet Datenverluste und gewährleistet einen vereinfachten Zugriff sowie Dokumentation aller geologischen Informationen. Diese Daten bilden die Grundlage für die Erstellung eines geologischen 3d-Lagerstättenmodells mit der Bergbauplanungssoftware Surpac Vision. Damit können sämtliche Hammerbohrdaten, Kernbohrdaten sowie Gefügedaten aus der zentralen Datenbank GEOrganizer ausgelesen und zusammen mit dem Modell und Grubengebäude dreidimensional dargestellt und analysiert werden. Daraus resultieren im Vergleich zur bisherigen 2d-Darstellung mittels Scheibenkarten erhebliche Visualisierungsvorteile. Durch die Implementierung des GEOrganizers sowie die 3d-Modellierung wurden sämtliche geologische Daten der Lagerstätte gesichert und die Möglichkeit geschaffen, diese bei zukünftigen Bearbeitungen abzurufen. Damit wird eine jederzeit erweiterbare Informationsbasis zur Beantwortung unterschiedlichster Fragestellungen im Bergbau und der Lagerstättenkunde zur Verfügung gestellt.

Abstract

Interdisciplinary practiced applied geosciences raise the necessity to easily access available geological data in order to recognize greater interrelation and for proper decision-making. Because data is collected for certain purposes it often results in a heterogeneous amount of data which can lead to its isolation. The aim of this master thesis was to obtain all available geological data for the specular hematite mine Waldenstein (Carinthia) and to collect additional information doing required geological mapping, drill core logging and laboratory work. All this data is stored in a new developed central database (Microsoft Access database application called GEOrganizer). The creation of this database avoids the loss of data and provides a powerful and easily accessible data management system. The geological data was extracted to create a 3d model using the mine planning software Surpac Vision. In addition it is possible to visualize drillholes, structural geological features, the geological model and the underground mine layout in 3d for further analysis. This is a major advantage compared to the existing 2d level maps of the underground mine. The implementation of the new centralized database GEOrganizer and geological 3d model will help to access and visualize data for further investigations and evaluations. It provides an expandable pool of information to answer future questions according to mining and mining geology.

1 Geographische Lage und Geschichte

Der Eisenglimmerbergbau Waldenstein befindet sich nahe der Grenze der beiden österreichischen Bundesländer Steiermark und Kärnten, westlich des sogenannten Packsattels im Bezirk Wolfsberg, Kärnten (Abb. 1).

Koordinaten (WGS84) Breite: 46°55'40.78"N
Länge: 14°53'09.92"E



Abb. 1: Geografische Lage Waldenstein (©2009 Google™)

Bekanntheit erlangten der Ort und die Umgebung aufgrund des geschichtlichen Erzabbaus und der Verhüttung von Eisen (Abb. 2).



Abb. 2: Betriebsgebäude, Aufbereitung und Schloss Waldenstein um 1850

Nach oftmaligem Besitzerwechsel gelangte die Herrschaft Waldenstein samt dazugehörigem Bergbau und Hochofen am 20. Dezember 1851 in den Besitz von Hugo I. Graf Henckel von Donnersmarck, einem aus Oberungarn abstammenden Geschlecht.

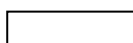
Die beiden Weltkriege, staatliche Enteignung und die Weltwirtschaftskrise beendeten schließlich die wirtschaftliche Vormachtstellung der Industriellenfamilie. Der Bergbau Waldenstein, heute im Besitz der Kärntner Montanindustrie GmbH (KMI), konnte erhalten werden. Graf Andreas Henckel von Donnersmarck, ein Ur-Ur-Urenkel des Grafen Hugo I. ist heute der Geschäftsführer der Kärntner Montanindustrie GmbH.

Das Unternehmen ist weltweit führender Anbieter von lamellarem Eisenoxid. Dieser wird unter anderem auch als Eisenglimmer oder Spekularit bezeichnet. Mineralogisch gesehen handelt es sich um Hämatit (Fe_2O_3), wobei die plättchenförmige Struktur zu besonderen physikalischen Eigenschaften führt und deshalb als Pigment in der Farben- und Lackindustrie (Rostschutz, dekorativer Metallschutz) sowie in der Keramik- und Kunststoffindustrie zum Einsatz kommt.

2 Eckdaten zum Bergbau Waldenstein

Der heute aktive Bergbau in Waldenstein erstreckt sich aufgeteilt in 7 Horizonte (Abb. 3) von Sohlhöhe 736m ü.A. bis auf eine Tiefe von 676m ü.A. (Tabelle 1).

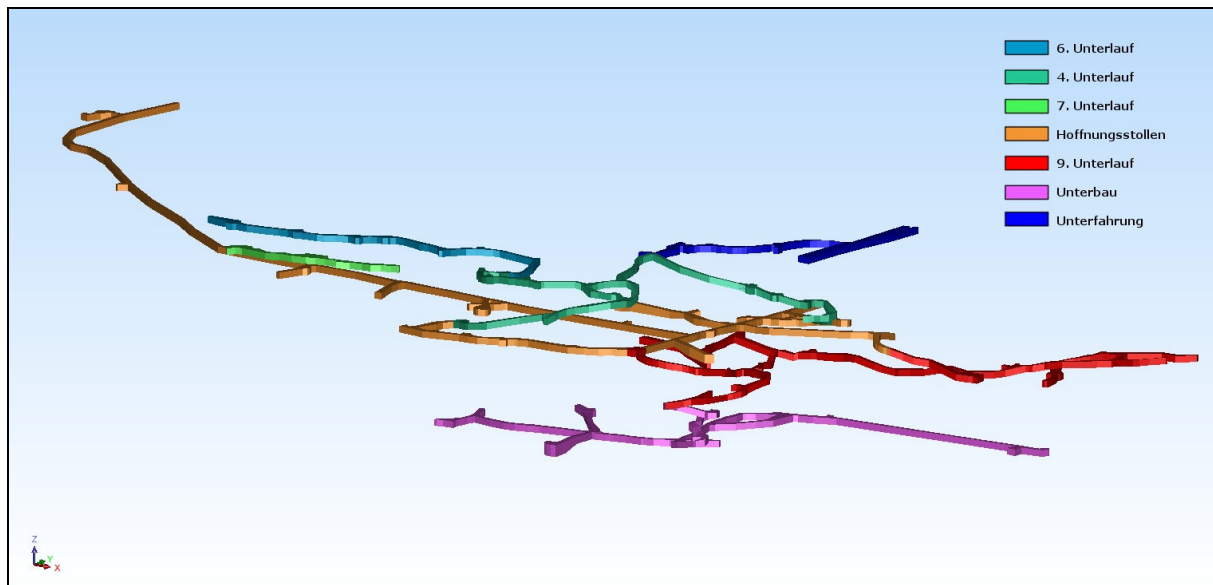
| Bezeichnung | von Sohlhöhe [m ü. A.] | bis Sohlhöhe [m ü. A.] |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| <i>Alter Mann</i> | 743m | 783m |
| Unterfahrung | 730m | 739m |
| 4. Unterlauf | 715m | 738m |
| 6. Unterlauf | 726m | 735m |
| 7. Unterlauf | 715m | 734m |
| Hoffnungsstollen | 710m | 721m |
| 9. Unterlauf | 701m | 716m |
| Unterbau | 676m | 680m |
| <i>Tiefbau II</i> | 656,5m | 657m |
| <i>Tiefbau I</i> | 650,5m | 651,5m |

 aktiv / offen

 aufgelassen / unzugänglich

Tabelle 1: Horizonteinteilung & -bezeichnung (Stand Oktober 2009)

Oberhalb des aktiven befindet sich der aufgelassene Bergbau („Alter Mann“), welcher laut mündlicher Aussagen bei Beendigung der Abbautätigkeit größtenteils zu Bruch geschossen wurde. Er erstreckt sich bis auf ein Niveau von 783m ü.A. Dieser Bereich ist aufgrund des Verbrauchs nicht mehr zugänglich. Weiters befindet sich auf Niveau 650,5m ü.A. der im Jahre 1999 aufgelassene und somit tiefste Horizont (Tiefbau), welcher heute ebenfalls nicht mehr zugänglich ist.



**Abb. 3: Offene Strecken des aktiven Bergbaus mit Horizonteinteilung & -benennung
Stand Jänner 2010, Y=Nord, X=Ost**

Nach dem österreichischen Mineralrohstoffgesetz (MinRoG) handelt es sich beim Eisenglimmer um ein Industriemineral (im weiteren Text als Erz bezeichnet) und zählt zu den bergfreien Rohstoffen. Das Erz wird ab einer Mächtigkeit von ca. 1,5m (~Streckenbreite) untertägig mittels Bohren und Sprengen im Firstenstoßbau gewonnen und anschließend in der Aufbereitung durch Trocknen, Mahlen, Sieben und Reinigen zu einem grau-glänzenden Pulver verarbeitet und in Säcken abgepackt.

Der beim Abbau entstandene Hohlraum wird mittels Spülversatz (Aufbereitungsrückstände), Taubgestein sowie LKW-Altreifen verfüllt und das Gebirge dadurch stabilisiert.

Der Transport Untertage erfolgt über Gleise sowie Bobcats. Das untertägig vorgebrochene Erz wird über einen Taschengurttförderer sowie angeschlossenen Förderband aus der Grube zur Aufbereitung transportiert. Wöchentlich gelangen so ca. 84t Waldensteiner Erz in die Aufbereitung, wo es zur Hälfte mit angekauftem Hämatit aus Marokko gemischt und aufbereitet wird.

In früheren Jahren wurde parallel zum laufenden Abbaubetrieb Explorationsbohrungen (Kern- und Hammerbohrungen) vorangetrieben. Aufgrund von Kosteneinsparungen wurden die Explorationskernbohrungen in den letzten Jahren komplett eingestellt und seither lediglich mittels Hammerbohrungen (maximale Teufe von ca. 15m) sowie direkten Streckenauffahrungen exploriert. Für eine mittel- und langfristige Planung ist dies jedoch unzureichend.

Die mächtigen, erzführenden bei früheren Explorationstätigkeiten entdeckten und erschlossenen Erzkörper im zentralen Bereich der Lagerstätte wurden zum Großteil bereits

abgebaut. Derzeit wird das Erz an mehreren kleinen Betriebspunkten, welche sich verteilt in der Lagerstätte befinden, abgebaut. Dies führt zu einem erheblichen Anstieg der Produktionskosten, weshalb neue und ergiebige Erzkörper aufgeschlossen werden müssen.

Besonders wichtig für die kontinuierliche Erzgewinnung der letzten Jahre war der derzeit östlichste Bereich der Grube (9. Unterlauf Ost).

3 Geologischer Überblick

Die Lagerstätte Waldenstein befindet sich im Koralmkristallin, welches dem Mittelostalpin (MOA) des Ostalpinen Deckenstapels zugeordnet wird (TOLLMANN 1977). Laut neuerer Nomenklatur (Wegfall des Mittelostalpins) befindet sich die Eisenglimmerlagerstätte im Koralpen Wölz hp Deckensystem, welches dem Oberostalpin zugerechnet wird. Dieses Deckensystem weist kein permomesozoisches Cover auf, stellt aber das Basement für die vom Untergrund abgescherten Deckensysteme wie Teilen der nördlichen Kalkalpen und der Grauwackenzone dar (SCHMID et al. 2004).

Das mittelostalpine Kristallin östlich der penninischen Einheiten des Tauernfensters wird in zwei Großdeckensysteme, nämlich in die tektonisch tiefer liegenden Muriden- und in die hangende Koriden-Einheit unterteilt. Beide Großdeckensysteme besitzen einen durch weitere Decken gezeichneten Internbau (KOBEL 1938).

Die Koriden (respektive Koriden Terrane), in welcher sich die Lagerstätte Waldenstein befindet, werden in zwei tektonische Einheiten unterteilt. In den liegenden Koriden – Gneis – Komplex und in den hangenden Plankogel Komplex. Ersterer stellt einen durch Gneise dominierten hochmetamorphen ehemaligen Akkretionskeil dar (FRISCH & NEUBAUER 1989). Als Einschaltungen treten Disthen-Paragneise, Amphibolite, Marmore und Kalksilikatgesteine sowie spätvariszische schichtparallele spodumenführende Pegmatite auf. Der Plankogel-Komplex wird aus Biotitglimmerschiefern, Silikatmarmoren und Amphiboliten aufgebaut. Aufgrund der Geochemie der Amphibolite (tholeiitische Ozeanbasalte) wird der Plankogelkomplex als ozeanische Becken- und Inselentwicklung gedeutet (EBNER 1997).

Der Koralm Komplex wird durch eine polymetamorphe Geschichte mit Anzeichen von präalpidischen Ereignissen charakterisiert (FRANK 1987; FRANK et al. 1983). Während der eozänen Deckenstapelung erfuhr er eine amphibolitfazielle Überprägung (FRANK 1987). Teile des Kernes sind hochdruckmetamorph (Eklogitfazies). Die äußerste Umhüllung ist grünschieferfaziell metamorph.

Bei der alpidischen (kretazischen) Überschiebung der Koriden auf die Muriden wurde die N-vergente Faltenstruktur des Koriden-Gneis Komplexes geprägt (FRANK 1987).

Im Miozän kam es zur Hebung und der lateralen Extrusion (Escapetektonik) des Ostalpins. Dadurch bildete sich an der Westseite der Koralpe die NNW-SSE streichende dextrale Lavanttalstörung mit Sprunghöhen von 4000-5000m. An der Ostseite senkt sich die Koralpe in staffelförmigen Brüchen und Abschiebungen in das Steirische Becken ab (TOLLMANN 1977). Innerhalb der Lagerstätte Waldenstein vorgefundene NNW-SSE verlaufende steilstehende

Störungen dürften mit der ca. 4km westlich liegenden Lavanttaler Störung in Zusammenhang stehen.

Das ostalpine Kristallin enthält eine Reihe von Eisenerzlagerstätten, die sich von Westen nach Osten in die metallogenetischen Einheiten Sideritbezirk Schwazer Augengneis, Sideritbezirk Hüttenberg, Hämatit-(„Eisenglimmer“)-Bezirk Seetaler Alpen, Hämatit-(„Eisenglimmer“)-Bezirk Waldenstein, Eisenerzbezirk Grobgneisserie und Eisenerzbezirk Wechsel Fenster unterscheiden lassen (WEBER 1997).

Zur Genese der Lagerstätte gibt es zwei Modelle (Abb. 4). Durch eine K-Ar Datierung der erzführenden Gesteine sowie Nebengesteine und der daraus erhaltenen Altersdifferenz wird davon ausgegangen, dass die Lagerstätte epigenetisch entstanden ist. Die Serizitalter aus den Alterationszonen wurden auf $46,1 \pm 0,5$ Ma datiert (PROCHASKA et al. 1995).

Im Gegensatz dazu weisen andere Arbeiten auf eine syngenetische Entstehung hin, d.h. der Eisenglimmer ist gleichzeitig mit dem Nebengestein in Form eines sedimentär-metamorphen Fe-Anreicherungsproduktes entstanden (SCHULZ 1986; AWAD 1983).

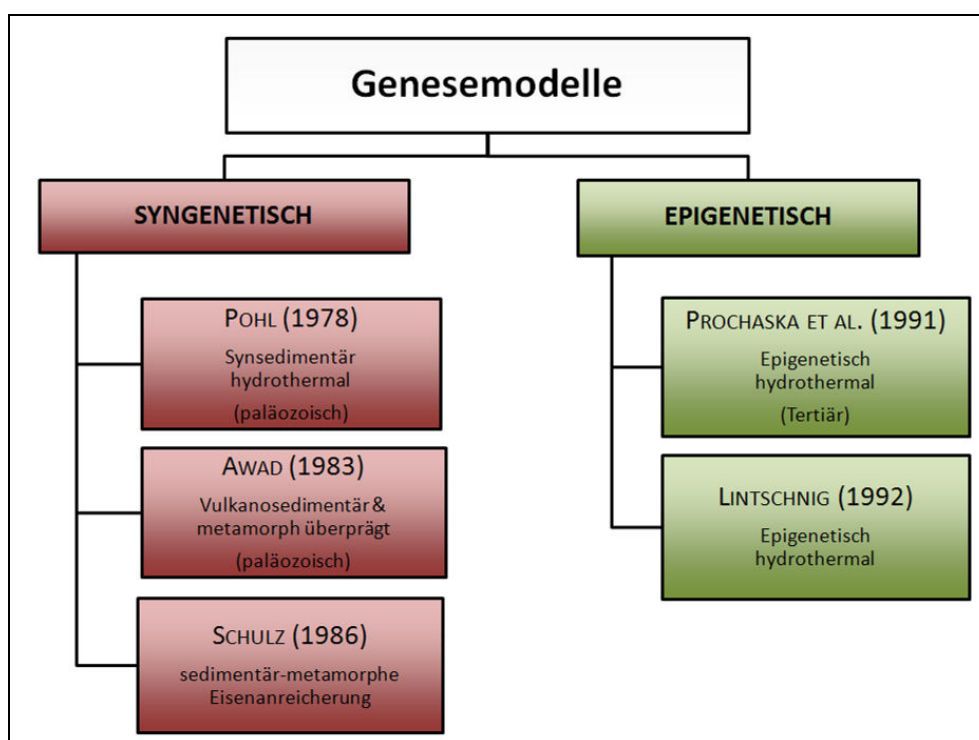


Abb. 4: Genesemodelle (inkl. deren Vertreter) zur Lagerstätte Waldenstein

Im Tertiär, während des letzten Kompressionsstadiums der alpidischen Orogenese, entstand in den Ostalpen ein System von Störungen (NEUBAUER & GENSER 1990). Diese werden als mögliche Migrationswege für aufsteigende erzführende Fluide gesehen, welche im höheren Krustenniveau durch Ausfällung die Mineralisation in Waldenstein bildeten.

Die Gesteine der Lagerstätte Waldenstein weisen eine (frühere) duktile sowie (spätere) spröde Deformation auf. Die Hauptvererzung in Waldenstein tritt linsenförmig meist am Kontakt

Marmor-Silikatmarmor zu Gneis-Glimmerschiefer auf, streicht schieferungsparallel zu den Umgebungsgesteinen WSW – ENE und fällt generell steil (75°) Richtung Norden ein.

Die Gesteine zeigen Faltungen vom Millimeter bis in den Meter-Bereich wobei die Faltenachsen meist flach Richtung ENE und WSW einfallen. Abhängig vom Niveau der Faltenstruktur wechselt auch der Einfallswinkel.

Störungen laufen oftmals entlang des Streichens, d.h. Ost-West und treten häufig dort auf, wo der Lithologiewechsel Gneis-Glimmerschiefer zu Marmor-Silikatmarmor stattfindet. Diese entstanden vermutlich aufgrund von Kompetenzunterschieden der Gesteine (unterschiedliche physikalische Eigenschaften) und bilden somit bevorzugte Migrationspfade für erzführende Fluide aufgrund der erhöhten Wegigkeit. Dies führt zur Steigerung des Mineralisationspotenzials und ist in der Exploration als Höffigkeitsbereich zu sehen. Weiters sind auch NW – SE streichende, steilstehende Störungsflächen vorzufinden, welche in den Zeitraum der späten, spröden Deformation gezählt werden dürften (Kapitel 6.2). Diese Störungen scheinen die Erzkörper nach Westen und Osten hin abzugrenzen respektive abzuschneiden. Die Störungen sind meist mit Letten (Lehm) gefüllt und weisen Erzspuren auf. Diese Störungszonen gaben den Erzlösungen vermutlich die Möglichkeit, aus der Tiefe hochzusteigen. Beim Antreffen des Marmors (chemische Falle, Änderung des pH-Wertes) kam es dann zur Ausfällung des Eisenglimmers. Die Vererzung dürfte somit tektonisch gesteuert sein. Die Ausfällung von Eisenglimmer wird über das Redoxpotential von Fe gesteuert (Abb. 5). In den obersten, oxidierenden Bereichen wird das Eisen der erzführenden Fluide als Eisenglimmer (Hämatit Fe_2O_3 , dreiwertiges Eisen Fe^{3+}) abgelagert.

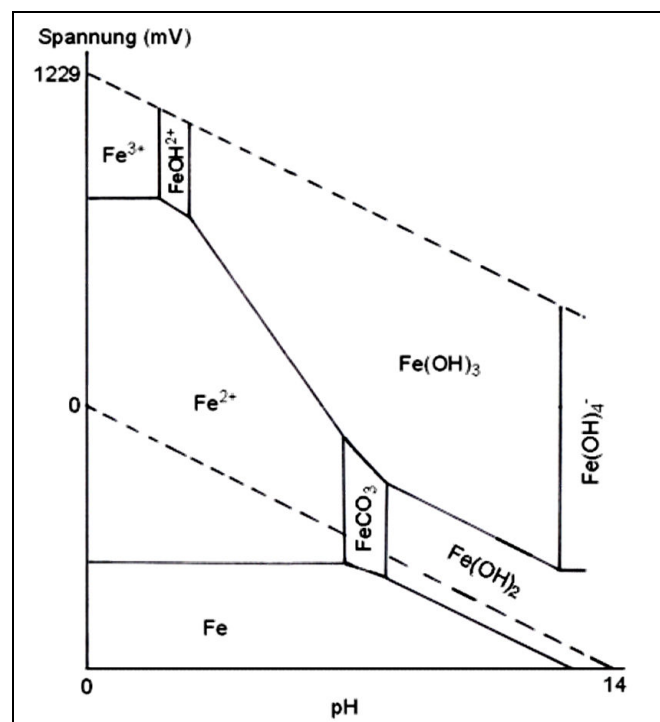


Abb. 5: Redoxpotential von Eisen (Quelle www.chemieunterricht.de/dc2/wasser)

In oberflächennahen Abschnitten sind die Eisenminerale Pyrit, Hämatit sowie untergeordnet Magnetit aufgrund der Oxidation zu Limonit/Goethit FeO(OH) umgewandelt, welcher im Raum Theissenegg in der Vergangenheit als Brauneisenerz sowie Brauneisenstein abgebaut und

verhüttet wurde. Der Limonit/Goethit ist somit als Sekundärerz der obersten Oxidationszone zu betrachten. Vermutlich nur entlang von tiefgreifenden Störungszonen, welche eine Zufuhrmöglichkeit von Sauerstoff schaffen, kann sich der Eisenglimmer bis in größere Tiefen hin bilden. In tieferen, derzeit noch nicht aufgeschlossenen Bereichen der Lagerstätte dürfte mit einem vermehrten Auftreten von dort stabilem Magnetit Fe_3O_4 zu rechnen sein.

Die erzführenden Linsen erreichen Längen von bis zu 100m und Mächtigkeiten bis zu 30m (WEBER 1997), vor allem in den oberen Bereichen der Lagerstätte („Alter Mann“), d.h. oberhalb des derzeit zugänglichen und aktiven Bergbaus. Nach unten hin scheinen die Mächtigkeiten der Erzlinsen abzunehmen.

In Waldenstein zeigen die Nebengesteine bei Annäherung an die Vererzung eine intensive Chloritisierung (PROCHASKA 1991). Der Kontakt zwischen dem Erz und dem Marmor ist stark unregelmäßig und weist darauf hin, dass das Karbonat vom Hämatit verdrängt wurde. Diese Verdrängung wird großteils von Falten, Brüchen, Brekkzienzonen und Klüften sowie lokal durch Foliationsebenen kontrolliert (PROCHASKA et al. 1995). Außerdem spricht die Absetzigkeit der Erzlinsen für eine hydrothermale Verdrängungsreaktion.

Zentrale Bereiche der Lagerstätte, welche am stärksten gestört sind, scheinen die mächtigsten Erzkörper aufzuweisen. Tektonische Bewegungen sind daher wahrscheinlich nicht nur die Ursache für die Ablagerung des Eisenglimmers, sondern auch für die Form und Orientierung der Erzkörper verantwortlich. Die dabei entstandenen neuen und/oder alten, wiederbelebten Störungen durchschneiden und zerstückeln die gebildeten Erzkörper und sorgen so für die starke Absetzigkeit der Erzlinsen und komplexen Lagerungsverhältnisse innerhalb der Lagerstätte.

Die Vererzung ist durch eine Hämatit, Chlorit und Pyrit Mineralparagenese gekennzeichnet, wobei das Erz makroskopisch in 3 Gruppen eingeteilt werden kann (Tabelle 2).

| <i>Bezeichnung</i> | <i>Merkmale</i> |
|--------------------|---|
| Grünes Erz | <ul style="list-style-type: none"> • Grünlich (chloritreich) • Meist stärker pyritführend • mittelfest • Qualität OK |
| Weiches Erz | <ul style="list-style-type: none"> • Dunkelgrau bis schwarz • Kaum Pyrit • Weich • Qualität SEHR GUT |
| Erz-Brekkzie | <ul style="list-style-type: none"> • Dunkelgrau bis schwarz • Kaum Pyrit • Erz weich, jedoch mit eingelagerten Marmor-Silikatmarmor Fragmenten • Qualität GUT |

Tabelle 2: Makroskopische Erzeinteilung in 3 Klassen

4 Geologische Aufnahme

Um die Datengrundlage für die 3d-Lagerstättenmodellierung (Kapitel 8.5) zu schaffen bzw. diese zu vervollständigen und erweitern, wurden montangeologische Aufnahmen im Bergbau Waldenstein durchgeführt.

4.1 Untertagekartierung

In den letzten Jahren wurden bereits regelmäßig im Rahmen der Lehrveranstaltung „Montangeologische Aufnahme“ (Leitung: Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.mont. Heinrich Mali) der Montanuniversität Leoben geologische Karten der Untertagesituation angefertigt. Weiters konnten ältere Karten und Profile von Kartierungsarbeiten unter Professor Pohl vorgefunden werden. Für die Erstellung des 3d-Lagerstättenmodells wurden deshalb jene Bereiche kartiert, von denen unzureichend bzw. keine geologischen Informationen vorhanden waren. Dies geschah in Form von Detailkartierungen (Maßstab 1:100) sowie Übersichtskartierungen, welche speziell auf die Anforderungen des zu erstellenden 3d-Lagerstättenmodells abgestimmt wurden.

4.1.1 Detailkartierung

Bei der Detailkartierung wurde die geologische Situation im Maßstab 1:100 festgehalten. Zur Geologie der Firste wurde auch die der Ulmen aufgenommen und in der Karte im nach oben geklappten Zustand dargestellt. Ergänzt werden diese von Profildarstellungen der Strecke. In ausgewählten Bereichen der Grube wurde eine solche Detailkartierung durchgeführt (Tabelle 3).

| Horizont | Bereich | Vermessungspunkte im Bereich | Benennung | siehe | Nr. in Abbildung |
|--------------|---------|------------------------------|------------------------------------|--------|------------------|
| 9. Unterlauf | Ost | 08W14, 08W15, 08W16 | Wetterwendel | Abb. 8 | 1 |
| 9. Unterlauf | Ost | 08W14 | Bunker/Blindschacht VI | Abb. 8 | 2 |
| 9. Unterlauf | Ost | 08W14 | Abbautätigkeit 2008, verfüllt 2009 | Abb. 8 | 3 |
| 9. Unterlauf | Ost | 07A23 | Richtung Süden zu Blindschacht VI | Abb. 8 | 4 |
| 9. Unterlauf | West | 07L1, 07L2 | | Abb. 9 | - |

| | | | | | |
|------------------------------------|--------|---------------------------------------|---|---------|---|
| Hoffnungsstollen | | | Richtung Osten, Verbindung mit 9. Unterlauf Ost | Abb. 10 | 1 |
| Hoffnungsstollen | | H28, H30 | Querschlag Richtung Ost | Abb. 10 | 2 |
| Hoffnungsstollen | | | Richtung Osten nach 9 West | Abb. 10 | 3 |
| 4. Unterlauf – Hoffnungsstollen | Wendel | H31J, H31I | | Abb. 12 | 1 |
| 4. Unterlauf | Wendel | F4 | | Abb. 12 | 2 |
| 6. Unterlauf | | 109J14G, 109J14F, 109J14E, 109J14D | | Abb. 13 | - |

Tabelle 3: Auflistung der kartierten Bereiche (Sommer 2008)

4.1.1.1 9. Unterlauf

Abb. 8

Nr. 1: 9. Unterlauf Ost, Wetterwendel

Karte „9. Unterlauf Ost Wetterwendel“ im Anhang I

Hierbei handelt es sich um den derzeit östlichsten Bereich der Lagerstätte (Stand Ende 2009). Die sogenannte Wetterwendel ist Richtung Osten hin ansteigend und sollte nach ursprünglichen Plänen von Herrn Prugger als zusätzlicher Tagausgang sowie zur verbesserten Wetterführung dienen. Aufgrund von instabilen Gebirgsverhältnissen (Störungsbereich, Verbruch) wurde der Vortrieb im Jahre 1999/2000 eingestellt. Allerdings wird angestrebt, im Frühjahr 2010 diesen Störungsbereich zu gewältigen und die Strecke weiter Richtung Osten voranzutreiben, um dort eine Bohrnische für die Exploration Richtung Osten, zur Feststellung der Fortsetzung des Marmors, einzurichten.

Die Wetterwendel zeigt im westlichen Bereich vergrünte Karbonate (Marmor), teilweise mit Erzspuren. Diese sind als „Ausläufer“ des nördlich davon gelegenen Erzkörpers anzusehen. In diesem Bereich befindet sich auch eine Störung, welche Nord-Süd streicht und mittelsteil Richtung Osten einfällt („Geologische Übersichtskarte 9. Unterlauf“ im Anhang I). Diese dürfte in Zusammenhang mit dem westlich des Schloss Waldenstein auftretenden Graben (gleiche Streichrichtung) stehen (Abb. 6).

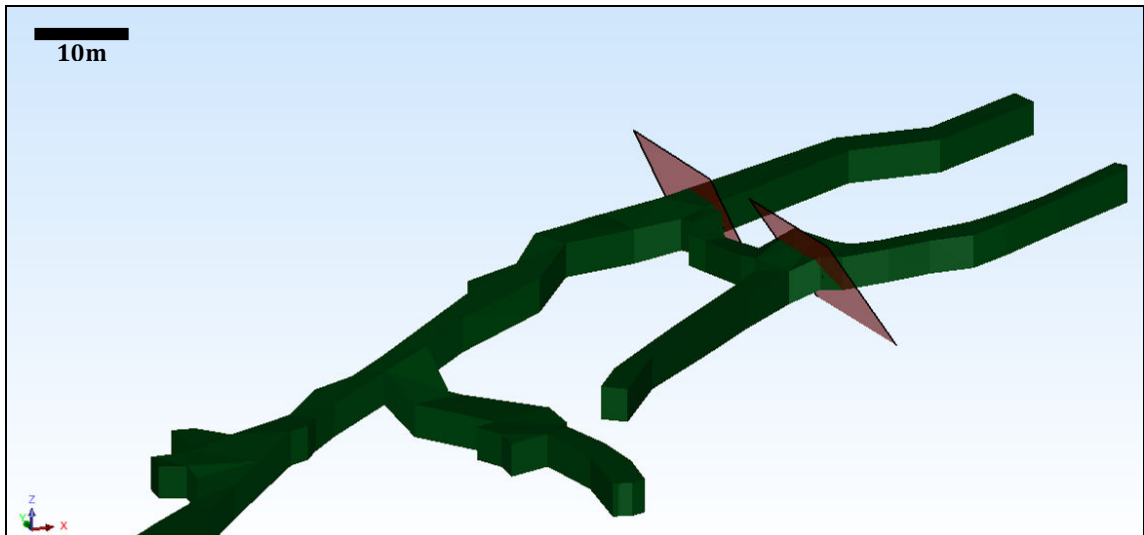


Abb. 6: Relevante Störungen (rote Flächen) im Bereich Unterlauf 9 Ost (Zusammenhang mit Graben westlich des Schloss Waldenstein), Y = Nord, X = Ost

Richtung Osten hin sind im Marmor-Silikatmarmor immer wieder geringmächtige Gneisbänder eingeschaltet, wobei hier am Kontakt keine Vererzung vorzufinden ist. Auffällig sind die vermehrt mächtig (Meterbereich) auftretenden Pegmatite.

Die Gesteine fallen generell steil nach SSE bzw. NNW ein und sind an Antiklinalstrukturen gebunden, welche eine flach nach SW ($\sim 230^\circ$) und ENE ($\sim 70^\circ$) einfallende Faltenachse besitzen.

Abb. 8

Nr. 2: Strecke Richtung Bunker/Blindschacht VI

Karte „9. Unterlauf Ost – Bunker (Blindschacht 6)“ im Anhang I

Die Strecke ist im Marmor-Silikatmarmor aufgefahren worden, welcher nördlich sowie südlich an Gneis und Grünschiefer grenzt. Im zentralen Bereich ist ein mächtiger Pegmatit aufgeschlossen. Die Gesteine streichen grundsätzlich NE-SW (Einfallrichtung $\sim 314^\circ$ – 359°) und werden von quergreifenden NW – SE (Einfallrichtung $\sim 36^\circ$ - 91°) verlaufenden Störungen unterbrochen. Der Großteil dieser Störungen weist Erzspreuen auf. Im Bereich der Nische befindet sich eine querschlagende Störung, welche mit der bis zu 1,5m mächtigen Erzlinse in Verbindung steht. Diese Nische diente im Jahr 2009 als Ausgangspunkt für die Explorationskernbohrungen Richtung N sowie NW (Bohrung KB09_UL9_02, KB09_UL9_03, KB09_UL9_04).

Abb. 8

Nr. 3: 9. Unterlauf Ost, aktiver Abbau 2008

Karte „9. Unterlauf Ost Abbau 2008“ im Anhang I

Aufgrund der zur Zeit der Kartierung stattgefundenen Abbautätigkeiten (Abb. 7) konnte nur der östlichste Bereich dieses Hohlraumes aufgenommen werden. Dieser wurde bereits teilweise mit sogenannten Bigpacks und LKW-Altreifen verfüllt.

Der auftretende Marmor streicht wie in der gesamten Lagerstätte üblich NE – SW (Einfallrichtung $\sim 330^\circ$). Abschnittsweise ist dieser stark vergrünt (chloritisiert). Im östlichen Bereich zeigen die Gesteine innerhalb der Faltenstruktur ein auffallend flaches Einfallen.

Der gesamte Bereich wurde bis Ende 2009 komplett versetzt.



Abb. 7: Aktiver Abbau Sommer 2008 (9. Unterlauf Ost, Blickrichtung NE)

Abb. 8

Nr. 4: Zweite Strecke Richtung Blindschacht VI

Karte „9. Unterlauf Ost – Blindschacht VI“ im Anhang I

Die zu Beginn Richtung Süden stark fallende Strecke weist anfangs ein ca. 2m mächtiges Gneis-Glimmerschieferpaket innerhalb des Marmors auf. In diesem sind helle, quarzreiche Pegmatite vorzufinden. Der weitere, stark gefaltete Marmor zeigt vermehrt Erzspreuen und grenzt im zentralen Bereich an einen Erzkörper, der allseits von chloritisierten Gesteinen umgeben wird. Es sind Verdrängungsgefüge innerhalb des Marmors festzustellen, welche auf eine metasomatisch hydrothermale Entstehung der Mineralisation hinweisen.

Der mittlere Bereich dieses Kartierungsgebietes ist durch einen Holzausbau stabilisiert. Der südlichste Teil der Strecke zeigt eine Marmor-Synklinale mit einem Glimmerschiefer-Kern. Die Faltenachse fällt flach Richtung SW ein. Direkt am Blindschacht 6 befindet sich eine querschlagende, vergrünte (chloritisierte) Störung innerhalb des Marmors. Ebenso ist am Ende der Strecke eine steil nach NE einfallende Störungsfläche aufgeschlossen.

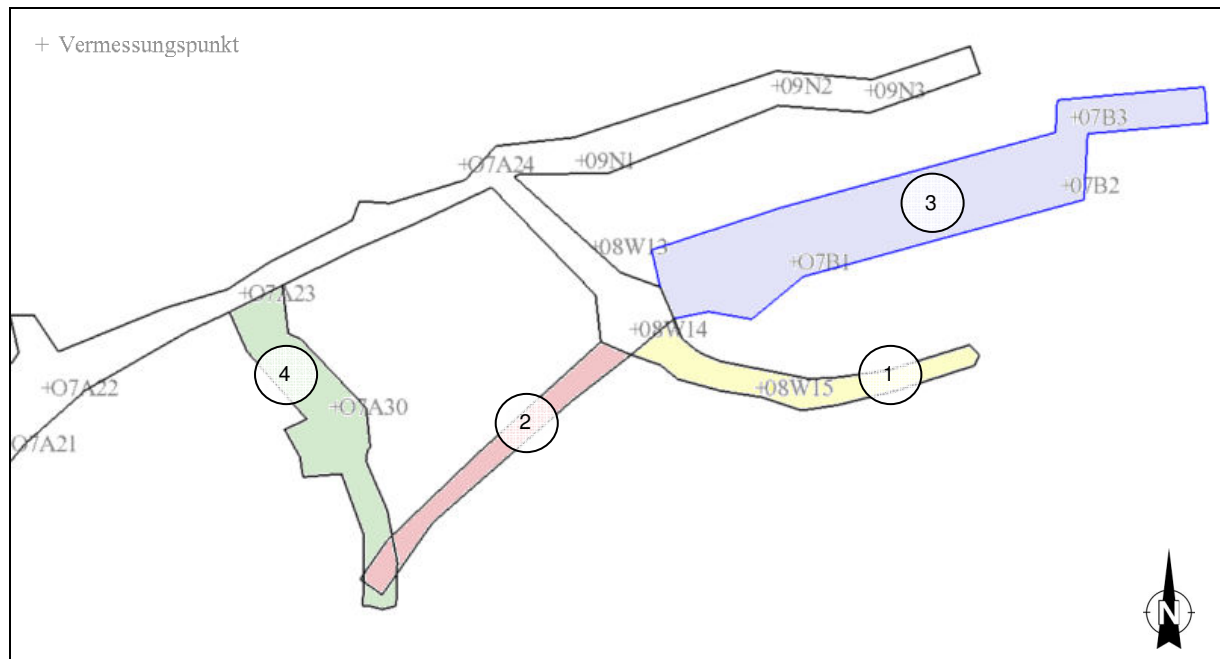


Abb. 8: Detailkartierungen im Bereich 9. Unterlauf Ost (Sommer 2008)

Abb. 9:
9. Unterlauf West

Karte „9. Unterlauf West“ im Anhang I

Die Strecke ist Richtung Westen hin stark ansteigend. Der hier auftretende Silikatmarmor ist erzführend und fällt steil Richtung Norden ein (Einfallrichtung $\sim 350^\circ$). Er grenzt nördlich an ein granatführendes Gneispaket.

Der gesamte Bereich zeigt eine verminderte Gebirgsfestigkeit und wird deshalb von einem Ausbau unterstützt.

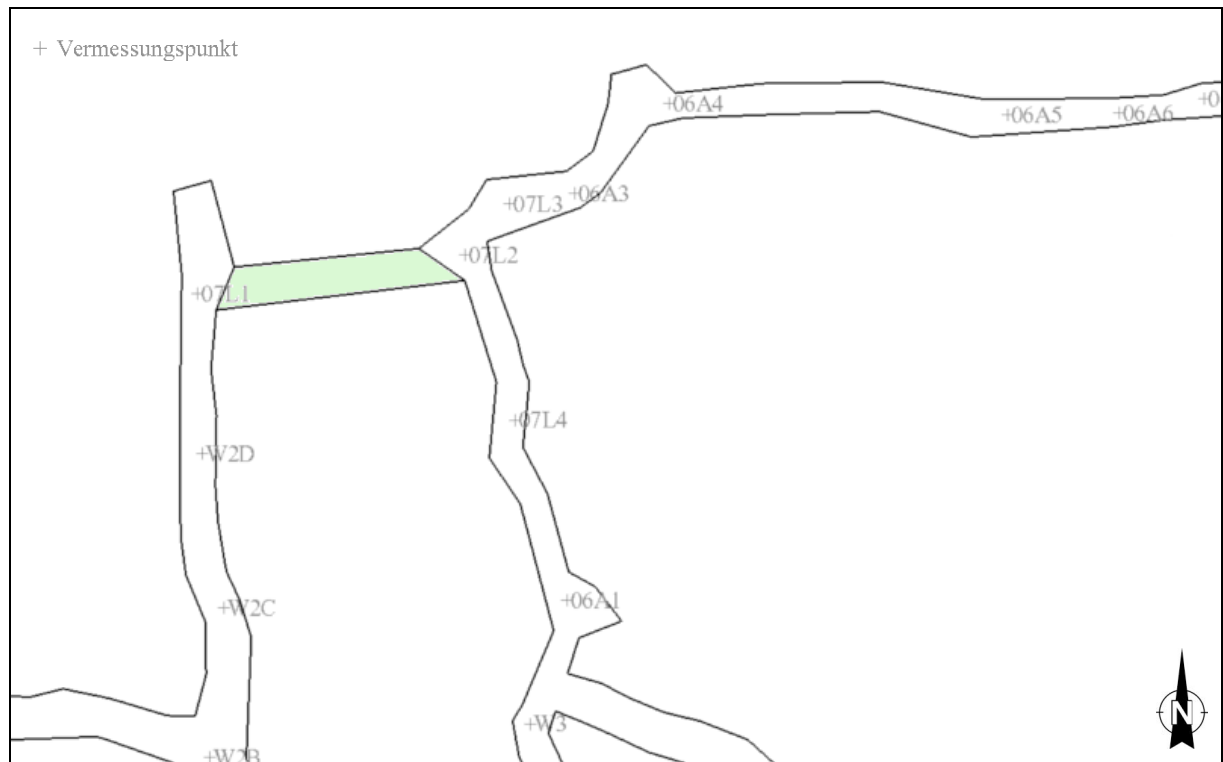


Abb. 9: Detailkartierungen im Bereich 9. Unterlauf West (Sommer 2008)

4.1.1.2 Hoffnungsstollen

Abb. 10

Nr. 1: Hoffnungsstollen Richtung Osten (Verbindung 9. Unterlauf)

Karte „Hoffnungsstollen Ost (Verbindung 9. UL)“ und „PROFILE Hoffnungsstollen Ost (Verbindung. 9. UL)“ im Anhang I

Im westlichen Abschnitt der Strecke besitzt der gefaltete Marmor an der südlichen Ulme sowie Firste stark vergrünte und vererzte Bereiche. Prinzipiell fällt der Marmor Richtung Norden ein. Ab Laufmeter 25 (beginnend von Westen) befindet sich der weder vererzte noch vergrünte Kontakt zum Gneis-Glimmerschiefer. Vermutlich aufgrund der Kompetenzunterschiede beider Gesteine ist am Kontakt eine Störfläche ausgebildet, welche geringmächtigen Störungsletten aufweist. Der östlich davon weiterlaufende Gneis-Glimmerschiefer ist gefaltet und abschnittsweise stärker granatführend. Die Faltenachse zeigt flach Richtung Osten.

Die Strecke wurde im Herbst 2009 weiter Richtung Osten vorgetrieben und mit der Ost-West verlaufenden Hauptstrecke des 9. Unterlaufes Ost verbunden.

Abb. 10
Nr. 2: Hoffnungsstollen Querschlag

Karte „Hoffnungsstollen Querschlag“ im Anhang I

Der steil Richtung Norden einfallende Marmor wird im Süden von Grünschiefer begrenzt. Die Strecke ist Richtung Osten hin versetzt und daher nur mehr wenige Meter zugänglich.

Abb. 10
Nr. 3: Hoffnungsstollen Richtung 9. UL West

Karte „Hoffnungsstollen Richtung 9. UL West“ im Anhang I

Die nach Osten hin stark fallende Strecke besteht im Westen aus steil nach Norden einfallendem Marmor mit einer flach nach Osten bzw. Westen einfallenden (pendelnden) Faltenachse. Der Marmor wird von dünnen, parallel zur Schieferung gerichteten Pegmatitbändern durchzogen. Im unteren Bereich quert eine steil stehende Störung die Strecke. Von dieser aus Richtung Osten beginnt vermehrt Eisenglimmer (Erz) aufzutreten, quasi stratiform im Marmor sowie unregelmäßig am Kontakt zum Marmor. Dies ist auf die metasomatische Entstehung des Erzes und der damit verbundenen Verdrängungsreaktion zurückzuführen. Im unteren Bereich, d.h. östlich der quer zur Strecke verlaufenden Störung sind ein erhöhter Wasserzutritt sowie eine Auflockerung des Gebirges festzustellen, weshalb hier ein massiver Ausbau eingebracht wurde. Ende des Jahres 2009 wurde in diesem Bereich mit dem Einbringen von Spülversatz begonnen.

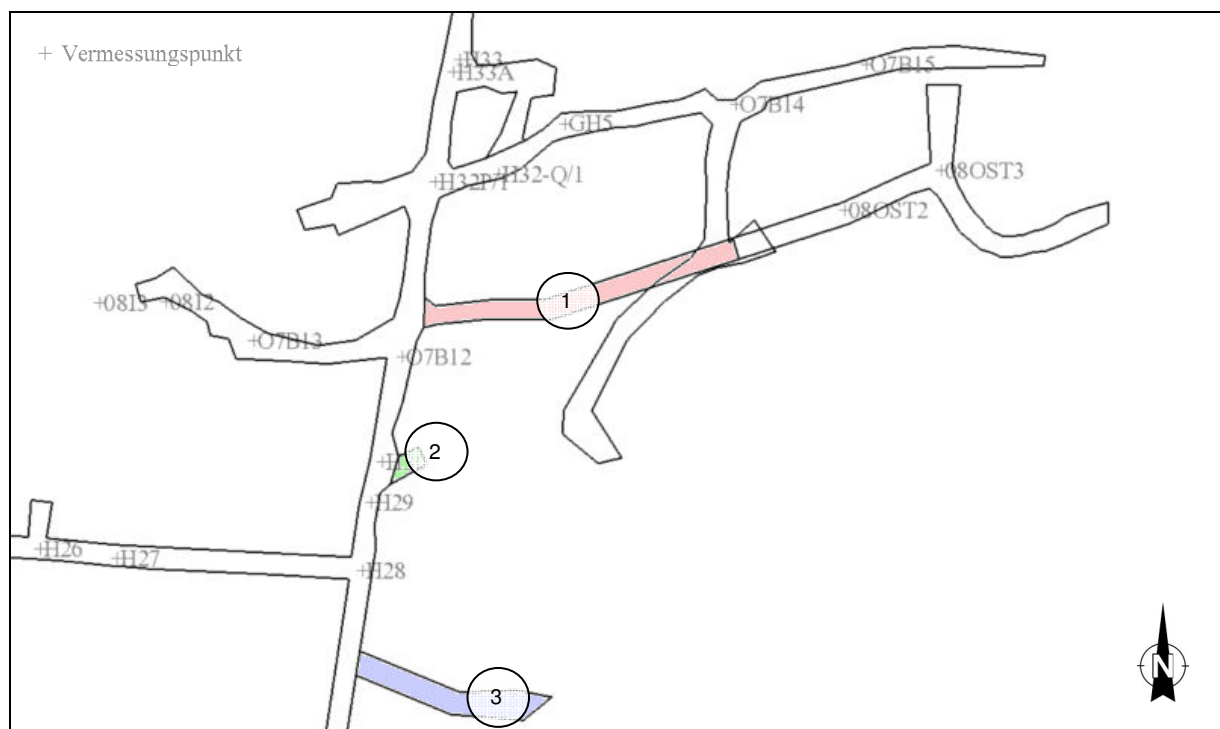


Abb. 10: Detailkartierungen im Bereich Hoffnungsstollen (Sommer 2008)

4.1.1.3 4. Unterlauf

Abb. 12

Nr. 1: Untere Wendel Hoffnungsstollen nach 4. Unterlauf

2 Karten „Untere Wendel 4. Unterlauf - Hoffnungsstollen“ im Anhang I

Im Bereich des Hoffnungsstollens bei Vermessungspunkt H31I steht an der Firste eine erzführende Marmorbrekzie an, welche nach Süden hin in Eisenglimmer (Erz) übergeht. Nach Westen hin wird diese durch eine steil stehende Störung vom angrenzenden Glimmerschiefer abgeschnitten. Nach Norden hin ist in der Nische der Kontakt zum Grünschiefer (= vergrünter Glimmerschiefer) feststellbar. Der gesamte Bereich bis hin zur Holzwand im Westen (Beginn Versatz) ist stark gestört und daher mit massivem Ausbau gesichert. In diesem Bereich ist ein vermehrter Wasserzutritt feststellbar. Richtung Wendel d.h. Norden am Kontakt Gneis-Glimmerschiefer mit dem Marmor-Silikatmarmor queren mächtige mit Lehm bzw. Letten gefüllte Störungen (Einfallrichtung NNE) die Strecke (Abb. 11). Nach diesen beginnt ein mächtiges Gneis-Glimmerschieferpaket, welches nur von querschlagenden, Kalzit gefüllten und teilweise vergrünten Klüften (bis 3cm) durchschlagen wird. Der Gneis-Glimmerschiefer streicht homogen E-W. Aufgrund des Fehlens von größeren Störungen und der guten Gebirgsstabilität ist in diesem Bereich kein Wasserzutritt festzustellen. Die extrem schnelle Änderung der Gebirgsverhältnisse und -standfestigkeiten von einem Meter auf den anderen (wie in diesem Bereich) ist in der Lagerstätte Waldenstein häufig vorzufinden und erschwert die Gewinnungs- sowie Explorationstätigkeiten erheblich.



Abb. 11: Störungsbereich bei unterer Wendel Hoffnungsstollen – 4. Unterlauf

Abb. 12

Nr. 2: Obere Wendel Hoffnungsstollen nach 4. Unterlauf

Karte „Wendel 4. Unterlauf - Hoffnungsstollen“ im Anhang I

Im Bereich Vermessungspunkt F4 befindet sich ein Erzkörper, der in Form einer Erzbrekkzie vorliegt. Dies bedeutet, dass im weichen Eisenglimmer bis zu fußballgroße Marmorbruchstücke bzw. -fragmente eingebettet sind. Nach Süden wird das Erz von einer steilstehenden, nach NE einfallenden Störung begrenzt.

Im oberen Bereich der Wendel, d.h. nördlich des zuvor beschriebenen Erzkörpers befindet sich ein ca. 10m mächtiges Marmorpaket, welches von einer chloritisierten Störung unterbrochen wird. Weiter nördlich grenzt der Marmor unregelmäßig an ein Eisenglimmer-Paket, welches teilweise als Erzbrekkzie anzusprechen und stellenweise stark pyritführend ist.

Im nördlichsten und auch höchsten Teil des kartierten Gebietes trennt eine nach N einfallende Störung den Erzkörper vom Marmor. Letzterer ist störungsnah stärker chloritisiert. Die Vergrünung nimmt mit zunehmender Distanz zur Störung (und Erzkörper) ab.

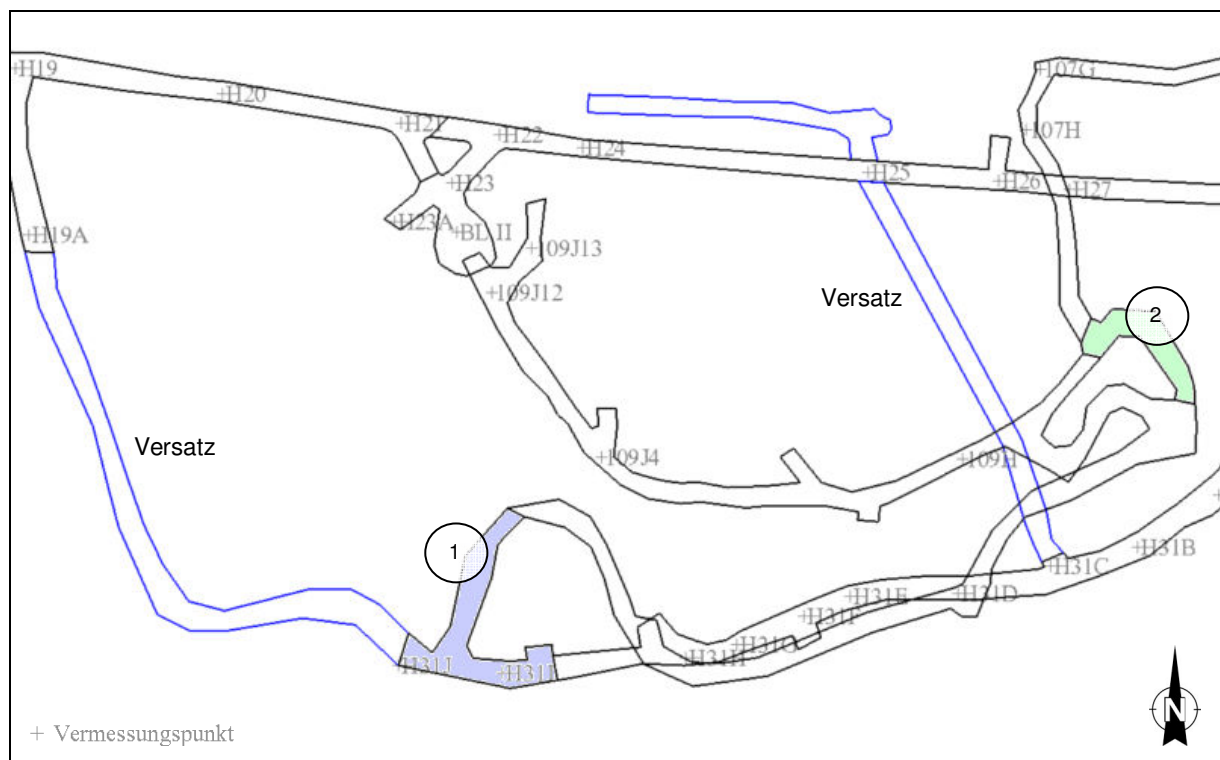


Abb. 12: Detailkartierungen im Bereich 4. Unterlauf (Sommer 2008)

4.1.1.4 6. Unterlauf

Abb. 13
Zentraler Bereich 6. Unterlauf

Karte „6. Unterlauf“ im Anhang I

In der Nische im östlichen Bereich des Kartierungsgebietes ist der Kontakt Gneis-Glimmerschiefer zum Marmor-Silikatmarmor aufgeschlossen. Der direkte Kontakt zeigt keine Störung. Ungefähr 2m weiter südlich, innerhalb des Gneis-Glimmerschiefers verläuft eine ca. 0,5m mächtige ENE-WSW streichende Störungszone, die mit Störungsletten gefüllt ist. Die angrenzenden Gesteine sind stark chloritisiert. Nach Westen hin ist der Kontakt Gneis / Marmor erzführend. Die Strecke verläuft im westlichen Bereich im Marmor, welcher steil Richtung NW einfällt und von kleineren, teilweise chloritisierten schieferungsparallelen Störungen unterbrochen wird.

In den Profilen (Karte „6. Unterlauf“, Profil A-A, Anhang I) ist die intensive tektonische Beanspruchung und Verformung des Marmors innerhalb der Faltenstrukturen ersichtlich. Die Faltenachsen fallen lagerstättentypisch flach nach SW und NE ein.

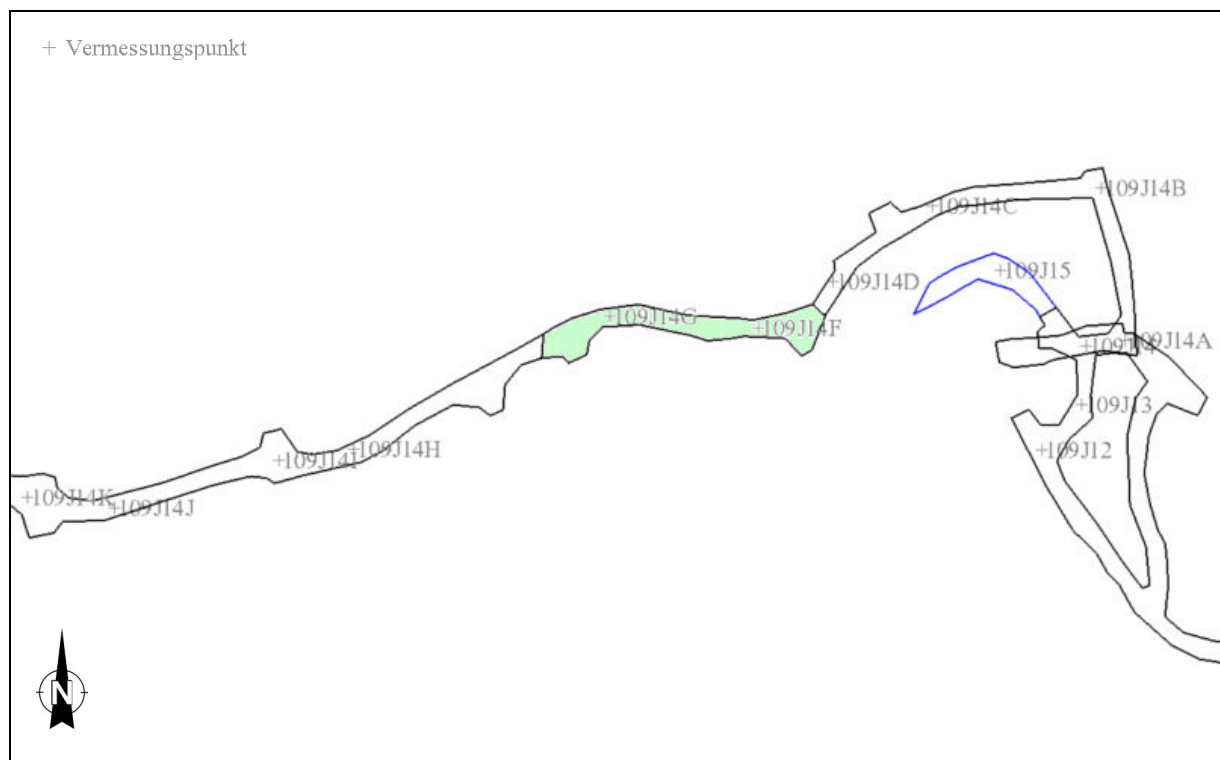


Abb. 13: Detailkartierungen im Bereich 6. Unterlauf (Sommer 2008)

4.1.1.5 Alter Pulverturmstollen

Alter Pulverturmstollen (Mundloch südwestlich Schloss Waldenstein)

Karte „Pulverturmstollen (bis Verbruch)“ im Anhang I

Im Zuge der Suche nach Zugängen zu den obersten, alten Lagerstättenbereichen („Alter Mann“) wurde das Mundloch des Alten Pulverturmstollens freigelegt. Die Strecke konnte auf einer Länge von 21m geologisch aufgenommen werden. Bei Laufmeter 21 verhinderte ein massiver Verbruch die Fortsetzung der Kartierungsarbeiten (Abb. 14).



Abb. 14: Verbruch bei LFM 21, Alter Pulverturmstollen

Die ersten 8m des Stollens sind durch ein Steingewölbe gesichert und sehr gut erhalten. Der restliche Abschnitt des Stollens wird von Silikatmarmoren aufgebaut, welche von mehreren E-W streichenden, mittelsteil einfallenden ($\sim 60^\circ$) Störungen unterbrochen werden. Diese weisen meist Spuren von Eisenglimmer auf und sind stark chloritisiert.

An der östlichen Ulme konnte ein gelblicher Bereich mit limonitführendem Marmor festgestellt werden.

4.1.2 Übersichtskartierung

Zur Vervollständigung der geologischen Daten speziell hinsichtlich der 3d-Lagerstättenmodellierung wurden die noch ausständigen Bereiche in Form einer Übersichtskartierung erfasst. Dabei wurde auf die Aufnahme der Ulmen sowie geologische Details verzichtet. Es wurden lediglich die später im Lagerstättenmodell auszuscheidenden Lithologien sowie relevante Störungs- und Schieferungsflächen aufgenommen und eingemessen. Der Verzicht auf geologische Details hat keinen Einfluss auf die Qualität des 3d Modells. Per Definition (siehe Kapitel 8.5) handelt es sich bei einem Modell um eine vereinfachte Darstellung der reellen Situation zur Beantwortung der Fragestellung bzw. zur Erfüllung des gewünschten Zwecks.

In folgenden Abschnitten der Lagerstätte wurde eine Übersichtskartierung durchgeführt und dokumentiert (siehe Tabelle 4):

| Horizont | Bereich | Vermessungspunkte im Bereich | Benennung | siehe |
|------------------|---------|---------------------------------|--|---------|
| 4. Unterlauf | | 107G, G1, G2, G4, G5 | Wendel Richtung Hoffnungsstollen | Abb. 15 |
| Hoffnungsstollen | West | H2 bis H20 | Westlichster Bereich Hoffnungsstollen bis Tagausgang | Abb. 16 |
| Unterbau | Ost | H32K, H32P | Blindschacht III, Bühne 3 | Abb. 17 |

Tabelle 4: Bereiche der Übersichtskartierung

4.1.2.1 4. Unterlauf

Abb. 15

Wendel Richtung Hoffnungsstollen

Karte „4. Unterlauf Richtung Hoffnungsstollen“ im Anhang I

Die von Vermessungspunkt G5 Richtung Westen ansteigende Strecke wird im untersten Bereich von Marmor aufgebaut. Dieser fällt steil Richtung NW ein und folgt dem lagerstättenüblichen E-W Streichen. Westlich von G4 folgt der ungestörte Kontakt mit dem Gneis-Glimmerschiefer, mit welchem der Marmor verfaltet ist. Die Einfallrichtung innerhalb des Gneis-Glimmerschieferpaketes ist Nord. Im oberen Bereich befindet sich ein weiterer Kontakt mit dem Marmor, der Erzspuren, jedoch keine prägnante Störung vorweist. Diese liegt etwa 2m weiter östlich, noch innerhalb des Glimmerschieferpaketes (ähnlich festgestellt im 6. Unterlauf, Kapitel 4.1.1.4), fällt Richtung NE ein und ist mit ca. 5 – 10cm Störungsletten gefüllt. Westlich dieser Störung treten in den Marmoren vermehrt Erzspuren auf.

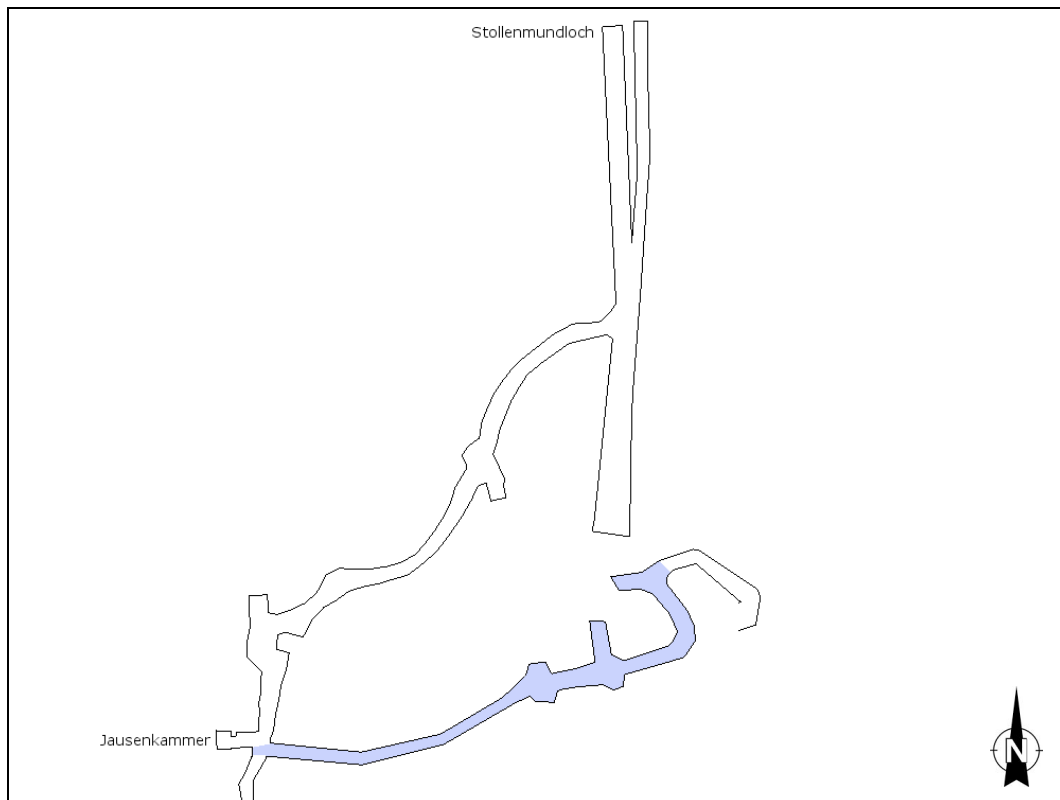


Abb. 15: Bereich der Übersichtskartierung 4. Unterlauf

4.1.2.2 Hoffnungsstollen

Abb. 16
Hoffnungsstollen Westbereich bis Tagausgang

5 x Karte „Hoffnungsstollen West x von 5“ im Anhang I

Der Bereich Hoffnungsstollen Richtung West (Tagausgang) ab Vermessungspunkt H20 wurde bis dato noch nicht kartiert. Beinahe der gesamte Stollen wird von Gneis-Glimmerschiefer aufgebaut, welcher Richtung NNW einfällt. Zahlreiche Störungen, meist Störungsletten führend, queren den Stollen.

Die Strecke zeigt im Bereich von Vermessungspunkt H19A (Karte „Hoffnungsstollen West 1 von 5“ im Anhang I) anstehenden Marmor.

Der Querschlag bei Vermessungspunkt H17 (Karte „Hoffnungsstollen West 2 von 5“ im Anhang I) zeigt Kalzit gefüllte, querschlagende bis zu 2cm mächtige Klüfte innerhalb des Gneis-Glimmerschiefers. Am südlichen Ende dieses Querschlages befindet sich eine mächtige Störung (~1m Lehm), welche den unmittelbaren Kontakt zum südlich gelegenen Marmor darstellen dürfte.

Die Bereiche entlang der Vermessungspunkte H16, H15 und H14 sind stark gestört und daher mit einem massiven (Stahl-) Ausbau gesichert. Es konnten keine Messwerte

aufgenommen werden. In diesem Bereich ist außerdem ein massiver Wasserzutritt festzustellen.

In der Richtung Süden aufgefahrene Nische bei Vermessungspunkt H10 (Karte „Hoffnungstollen West 4 von 5“ im Anhang I) konnten 2 Ansatzpunkte für SSE verlaufende Bohrungen festgestellt werden. Es liegen allerdings keine Daten vor, wann und mit welchem Ergebnis diese abgeteuft wurden. Östlich des Vermessungspunktes H10 ist eine 1m mächtige Störung (Kakirit) innerhalb des Gneis-Glimmerschiefers aufgeschlossen.

Zwischen H10 und H9 wurde aufgrund der gestörten Gebirgsverhältnisse ein Ausbau eingebracht. Die Wasserzutritte in diesem Bereich sind stark erhöht.

Im Bereich Vermessungspunkt H8 konnten Kluffüllungen (bis ca. 3cm) von Siderit, Ankerit sowie Hämatit festgestellt werden.

Der Bereich H7 bis H2 ist fast gänzlich ausgebaut, was auf große Störungszonen zurückzuschließen ist. Südlich von Punkt H2 ist der erzführende und gestörte Kontakt zwischen dem Gneis-Glimmerschiefer und Marmor anzutreffen. Es ist dort eine ca. 1m mächtige Erzlinse aufgeschlossen, welche sich beim Sprengmittellager Richtung Westen fortsetzen dürfte.

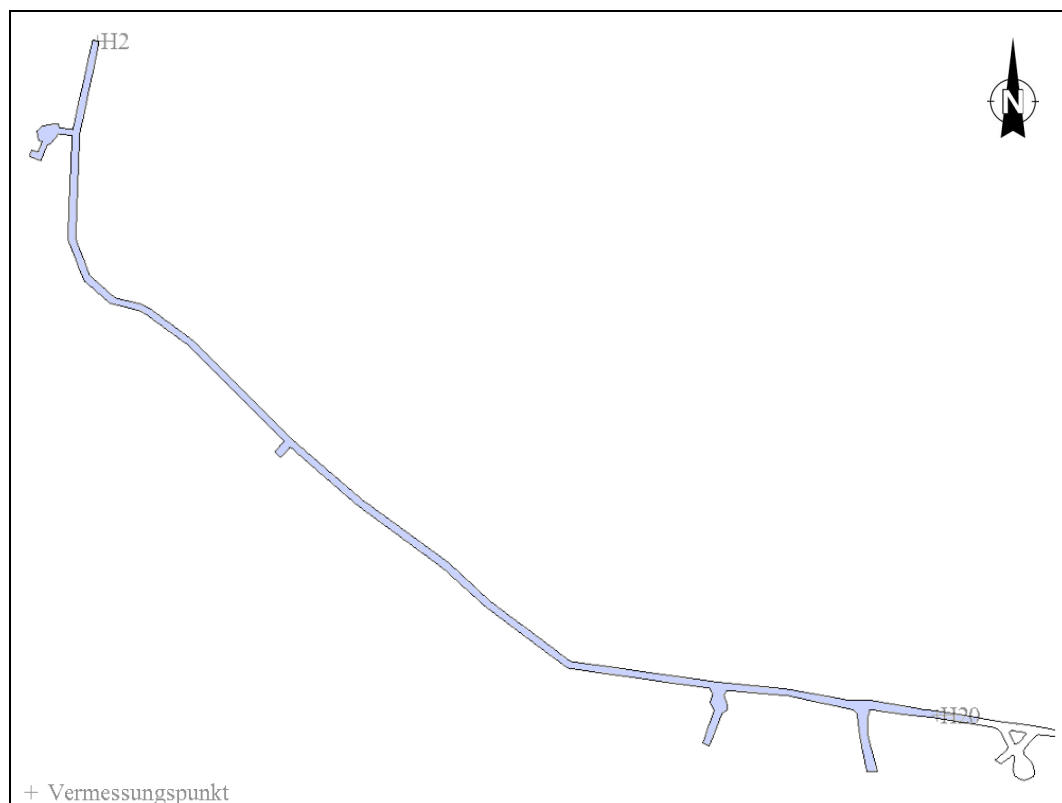


Abb. 16: Bereich der Übersichtskartierung Hoffnungstollen West

4.1.2.3 Unterbau

Abb. 17

Strecke Blindschacht III – Bühne 3

Karte „Unterbau Schacht III – Bühne 3“ im Anhang I

Diese Strecke befindet sich 11,5m oberhalb der Sohle des Unterbaus. Zugänglich ist dieser Abschnitt nur über die Mannfahrt des Blindschachts III. Da es kein Kartenmaterial dieses Bereiches gibt, wurde es mit Kompass und Meterband eingemessen.

Der E - W verlaufende Streckenbereich beim Blindschacht III ist aus Marmor aufgebaut, welcher steil Richtung N einfällt. Der östlichste Bereich dieser Strecke ist versetzt. Wie weit dieser Versatz Richtung Osten reicht, ist unbekannt.

Die Strecke Richtung SE zeigt im Norden sowie Süden einen ungestörten Kontakt des Marmors mit dem Gneis-Glimmerschiefer. Der Gneis-Glimmerschiefer selbst streicht lagerstättentypisch E-W. Der südwestlichste Bereich der Strecke wird von Marmoren aufgebaut. Im Bereich des Ausbaues steigt die Strecke steil an und führt in eine ca. 4m höher liegende Kammer. Darin sind zwei mächtige, lehm- und erzführende Störungen aufgeschlossen. Die Gesteine, welche die Kammer aufbauen sind stark gestört, chloritisiert und erzführend. Betrachtet man die Lagerstätte im 3d - Modell, so befindet sich die Kammer unterhalb eines mächtigen bereits abgebauten Erzkörpers.

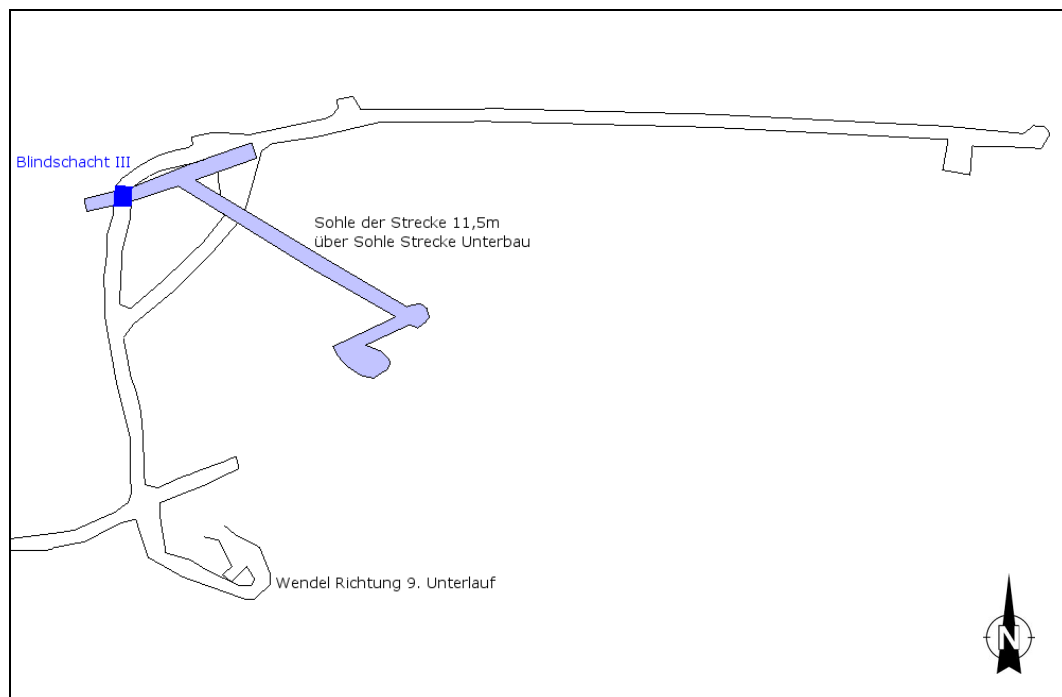


Abb. 17: Bereich der Übersichtskartierung Unterbau (Blindschacht 3, Bühne 3)

4.2 Bohrkernaufnahme

Im Sommer 2008 wurden die gesamten im Kernlager befindlichen Bohrkerne geologisch aufgenommen und anschließend in einer Datenbank gespeichert (Kapitel 8.4.4.1). Dabei handelte es sich um insgesamt ca. 4.500m Bohrkern.

Zur besseren Beurteilung des Mineralbestandes der einzelnen Bohrkerne wurden diese vom Staub befreit bzw. gereinigt und anschließend mit Wasser befeuchtet. Standardmäßig wurde jede Kernkiste mit einer DSLR-Kamera (Canon EOS 400d, 10.2 Megapixel) fotografiert (Abb. 18), und die Bildnummer dem jeweiligen Bohrkernabschnitt in der Datenbank zugewiesen. Es besteht also nun die Möglichkeit, aus einer ausgewählten Bohrung jeden beliebigen Abschnitt als JPG-Bild zu betrachten.

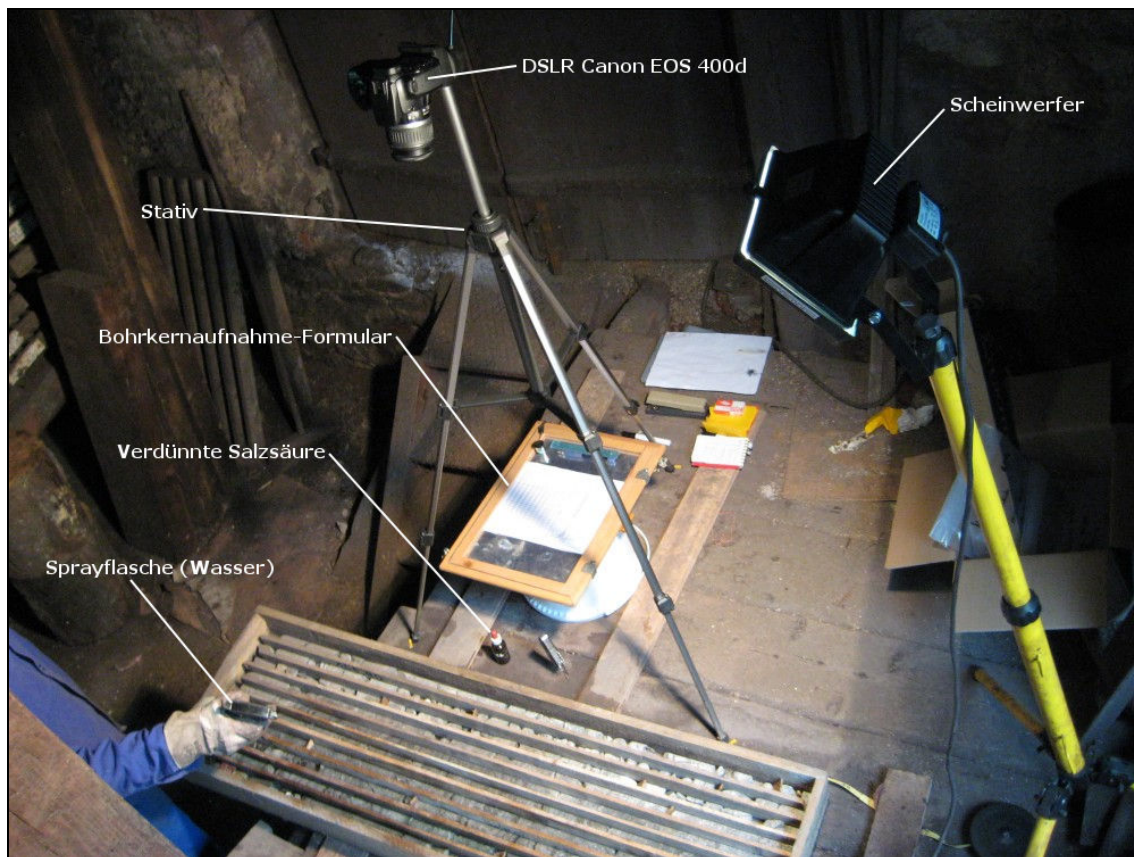


Abb. 18: Utensilien zur detaillierten geologischen Bohrkernaufnahme

Zur systematischen Aufnahme wurde ein detailliertes geologisches Bohrkernaufnahmeblatt erstellt (Anhang II), welches an die Lithologien der Lagerstätte Waldenstein angepasst wurde. Darin werden standardmäßig folgende Attribute erfasst (Tabelle 5).

| Attribut | | Beschreibung |
|---------------------------|------------------------|--|
| Aufgenommen von | | <i>Name der Person(en), welche Bohrkern untersucht hat/haben</i> |
| Aufgenommen am | | <i>Datum der Bohrkernaufnahme (dd-mm-yyyy)</i> |
| Bohrkernbezeichnung | | <i>Bezeichnung der Bohrung laut Bohrkernkiste</i> |
| Kisten Nr. | | <i>Kistennummer der jeweiligen Bohrung</i> |
| Bild Nr. | | <i>Original-Bildnummer laut Digitalkamera (z.B. 4789 für Datei IMG_4789.jpg)</i> |
| von [m] – bis [m] | | <i>Betrachteter Bohrlochabschnitt von / bis</i> |
| Lithologie | Erz | <i>Eisenglimmer, Hämatit</i> |
| | Marmor | <i>Marmor rein, kaum Glimmer vorhanden</i> |
| | Silikatmarmor | <i>Vermehrt Glimmer vorhanden (meist Phlogopit)</i> |
| | Gneis | <i>Oftmals Wechsellagerung mit Glimmerschiefer</i> |
| | Pegmatit | <i>Feldspat, Quarz und Muskovit als Hauptgemengteile</i> |
| | Glimmerschiefer | <i>Oftmals Wechsellagerung mit Gneis</i> |
| | Quarzit | <i>Reiner Quarz</i> |
| | Grünschiefer | <i>Stark vergrünter (chloritisierter) Schiefer</i> |
| Besonderes Merkmal | Erzführend % geschätzt | <i>Prozentuelle Schätzung von Eisenglimmer in jeweiligem Abschnitt (z.B. Marmor mit Erzspreuen)</i> |
| | Chloritisiert | <i>Vergrünung (Achtung, Verwechslungsgefahr mit epidotführendem Gneis bzw. Kalksilikatschiefer) + stark, o mittel, - wenig</i> |
| | Pyritisiert | <i>Pyrit vorhanden</i> |
| | Muskovitführend | <i>Heller Glimmer vorhanden</i> |
| | Biotitführend | <i>Dunkler, schwarzer Glimmer vorhanden</i> |
| | Phlogopitführend | <i>Hellbrauner Glimmer vorhanden</i> |
| | Granatführend | <i>Granat und/oder Granatrelikte vorhanden</i> |
| | Quarzadern | <i>Quarzadern > 3mm vorhanden</i> |
| | Kalzitadern | <i>Kalzitadern > 3mm vorhanden</i> |
| | Kernverlust | <i>Vergleich der Meterangaben in Kernkiste zu tatsächlich vorhandenem Kern</i> |
| Anmerkung | | <i>Generelle Anmerkungen (z.B. Bohrkern durcheinander, Granat bis 2cm, ...)</i> |

Tabelle 5: Attribute des Bohrkernaufnahmeblatt detaillierte Geologie

Zu Beginn der Arbeiten befanden sich das Bohrkernlager bzw. die darin gestapelten Bohrkernkisten in einem desolaten Zustand. Sie waren ohne System quer übereinander gestapelt und standen direkt am feuchten Erdboden. Dadurch waren zahlreiche Kisten von einem Schimmelpilz befallen und mussten umgeräumt werden. Um dies zukünftig zu verhindern, wurde im gesamten Bohrkernlager eine mehrere cm dicke Kiesschicht eingebracht und die Kisten auf Euro-Paletten gestapelt, um eine Durchlüftung am Boden zu gewährleisten und einen Aufstieg von Feuchtigkeit zu verhindern (Abb. 19).



Abb. 19: Bohrkernlager; Zustand vor (links) und nach (rechts) den Arbeiten

Bohrkerne sind als geologische Dokumente anzusehen und auch wie solche zu behandeln und daher sorgfältig zu lagern. Die Weiterentwicklung der geologischen Wissenschaften sowie der Wissenszuwachs im Laufe der Zeit bilden die Notwendigkeit, auch in Zukunft jederzeit für fortschreitende Analysen auf Bohrkern zu greifen zu können.

5 Lithologien

Im Zuge der Kartierungsarbeiten, Bohrkernaufnahmen sowie petrographischen Untersuchungen von Dünnschliffen konnten für die Lagerstätte Waldenstein folgende Lithologien unterschieden werden.

5.1 Marmor - Silikatmarmor

Der durchgehend fein- bis mittelkörnige Marmor zeigt oftmals einen graduellen Übergang von Marmor zu Silikatmarmor. Dies wirkt sich auf dessen Farbe aus, welche im Bereich von weiß – grau über gelblich – grau bis bräunlich liegt (Abb. 20). Als Hauptgemengeteil tritt granoblastischer Kalzit auf. Als Silikate sind vorwiegend die Glimmer Phlogopit und Biotit, untergeordnet Chlorit und Muskovit vorzufinden, welche aufgrund der Metamorphose eine parallele Einordnung vorweisen und dadurch im Silikatmarmor eine Schieferung bewirken. Diese führt(e) oftmals zur Verwechslung von Silikatmarmor mit dem Gneis-Glimmerschiefer.

Entlang von Störungszonen ist der Marmor-Silikatmarmor stark zerklüftet und alteriert, wodurch sich die Farbe zu rostbraun bis gelb verändert. Akzessorisch sind Quarz und Pyrit enthalten. Klüfte im Marmor-Silikatmarmor sind stellenweise mit Chlorit- und/oder Hämatit sowie grobspätigem Kalzit gefüllt.

Die Hämatitvererzung (Eisenglimmer) ist stets an den Marmor-Silikatmarmor gebunden, wobei im Nahbereich der Marmor meist stärker chloritführend und dadurch vergrünt ist. Der Eisenglimmer tritt sowohl konkordant als auch diskordant zu den Schieferungsflächen in Erscheinung.

Im gesamten Lagerstättenbereich zeigt der Marmor (sowie die Nebengesteine) Kleinfaltungen sowie Faltungen im Meter-Bereich.

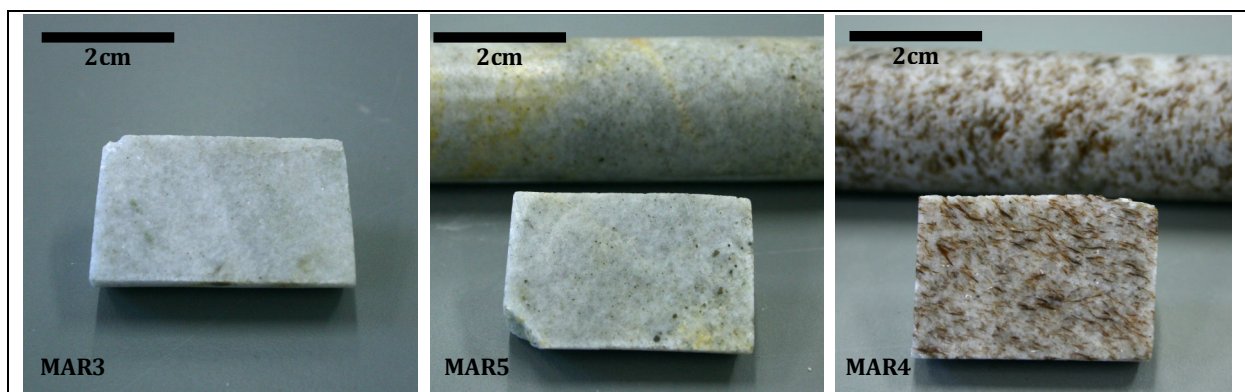


Abb. 20: Marmor rein (MAR3), leicht alterierter Marmor mit Pyrit (MAR5), phlogopitreicher Silikatmarmor (MAR4)

Untersuchte Probe: MAR4 (Abb. 20)
von Bohrkern 9UB Ost 12 (Kiste 9), Bohrmeter 47,4m

Dünnschliffbeschreibung MAR4

Es handelt sich hierbei um einen Silikatmarmor welcher zu ~85% aus Kalzit und ~15% Phlogopit besteht. Letzterer ist typisch für kontaktmetasomatisch gebildete Kalksilikatgesteine und Silikatmarmore. Der Phlogopit ist verantwortlich für die ausgeprägte Schieferung des Silikatmarmors (Abb. 20). Akzessorisch tritt feinverteilter, meist euhedral sowie subhedral kristallisierter Pyrit und undulös auslöschender Quarz auf. Der Kalzit zeigt ausgeprägte polysynthetische Zwillingslamellen (Abb. 21).

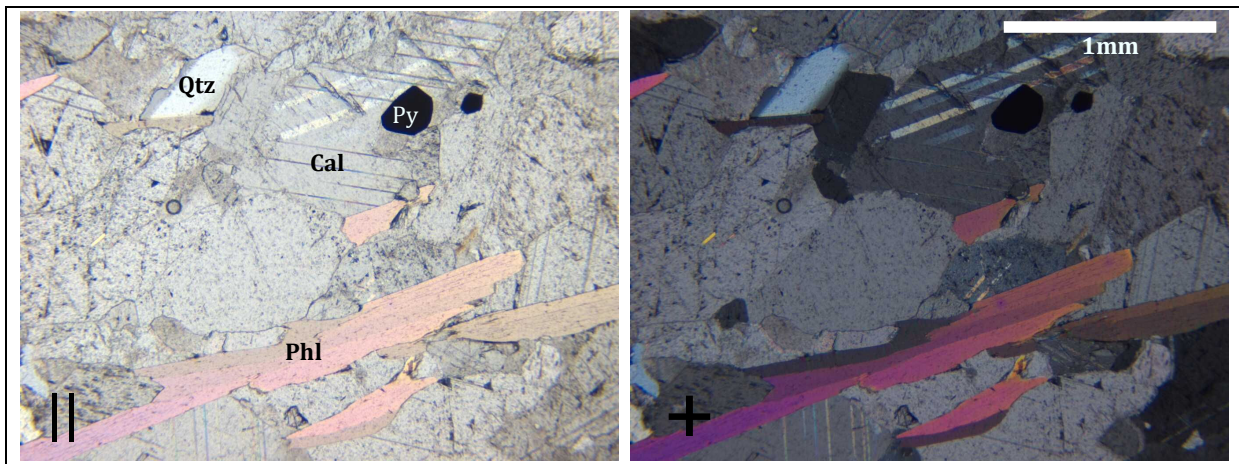


Abb. 21: Dünnschliff MAR4, 40x, Silikatmarmor: Kalzit mit ausgeprägten Zwillingslamellen (Cal), Phlogopit (Phl), undulöser Quarz (Qtz) und euhedraler Pyrit (Py)

Untersuchte Probe: MAR3 (Abb. 20)
von Bohrkern UB Ost 18 (Kiste 3), Bohrmeter 18m

Dünnschliffbeschreibung MAR3

Der optisch weiße und reine Marmor wird vorwiegend aus Kalzit aufgebaut. Die Kornkontakte können als wellig respektive suturiert bezeichnet werden. Akzessorisch ist euhedraler Pyrit sowie Hellglimmer (Muskovit) im Kalzit eingebettet (siehe Abb. 22).

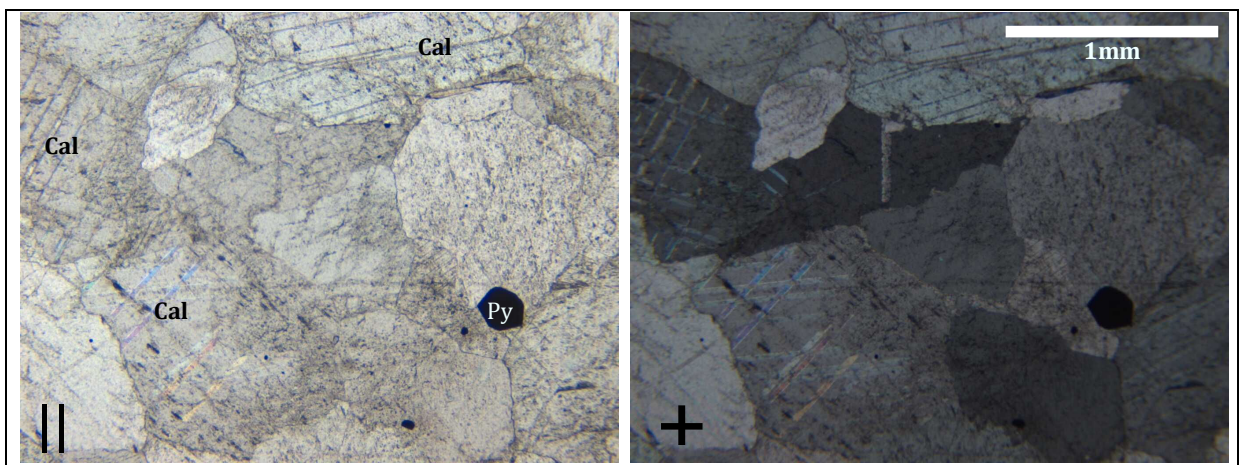


Abb. 22: Dünnschliff MAR3, 40x, Marmor: Kalzit mit ausgeprägten Zwillingslamellen (Cal) und euhedraler Pyrit (Py)

5.2 Gneis (Paragneis)

Der Gneis besitzt einen dunkleren Farbeindruck sowie höhere Festigkeit als der Silikatmarmor, da hier neben Biotit und Muskovit auch Feldspat, Quarz und Granat zum Mineralbestand zählen. Die Farbe des feinkörnigen Gneises reicht von grau über dunkelgrau bis hin zu grün-grau. Letztere tritt in alterierten Bereichen (Vergrünung durch Chlorit) sowie in epidotreichen Lagen innerhalb des Gneises auf (Abb. 25).

Oftmals zeigt der Gneis unter Zunahme von Glimmern einen graduellen Übergang zum Glimmerschiefer oder tritt auch in Wechsellagerung mit dem Glimmerschiefer sowie als mehrere dm-mächtige Einschaltungen im Marmor-Silikatmarmor auf. Bei den fließenden Übergängen Gneis zu Glimmerschiefern ist eine Differenzierung respektive Unterscheidung oftmals nicht möglich.

Im feinkörnigen Gneis eingebettet ist mehr oder weniger stark zersetzter Granat vorzufinden, der eine maximale Größe von bis zu 2cm aufweisen kann (Abb. 23).

Im gesamten Lagerstättenbereich zeigt der Gneis Kleinfaltungen sowie Faltungen im Meter-Bereich.

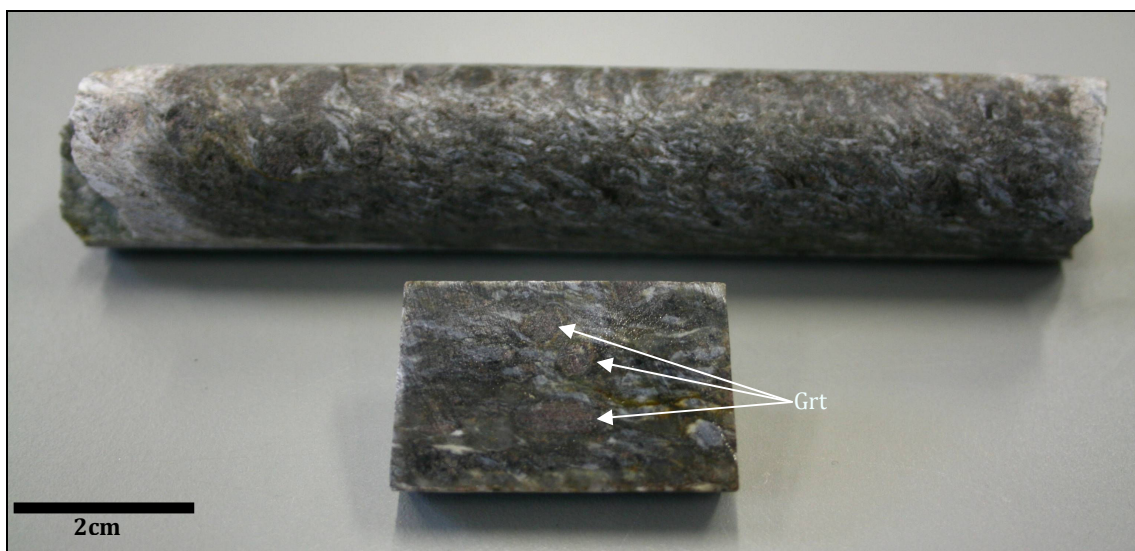


Abb. 23: Granatführender Gneis GN1, Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 7, Bohrmeter 35,3

Untersuchte Probe: GN1 (Abb. 23)
von Bohrkern UB9 Ost 19 (Kiste 7), Bohrmeter 35,3m

Dünnschliffbeschreibung GN1

Der Gneis besteht vorwiegend aus feinkörnigem Quarz (~55%), welcher zusammen mit Feldspat (~10% Plagioklas) und Glimmer (~20% Muskovit, ~15% Biotit) vorzufinden ist. Letztere führen zur Schieferung des Gesteins. Die Schieferung „umfließt“ die als Porphyroblasten vorliegenden Granaten, welche zahlreich und bis zu cm groß vorkommen (Abb. 24). Die rötlichen Granate (Almandin sowie Pyrop) lassen einen Rückschluss auf die

Metamorphosebedingungen zu. Die Löcher im Granat sind mit den bestehenden Mineralen gefüllt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Granat diese während des Wachstums bei der prograden Metamorphose eingeschlossen oder aber diese retrograd während der Zersetzung der Granaten gebildet wurden. Akzessorisch ist feinverteilter Pyrit vorzufinden (Abb. 24).

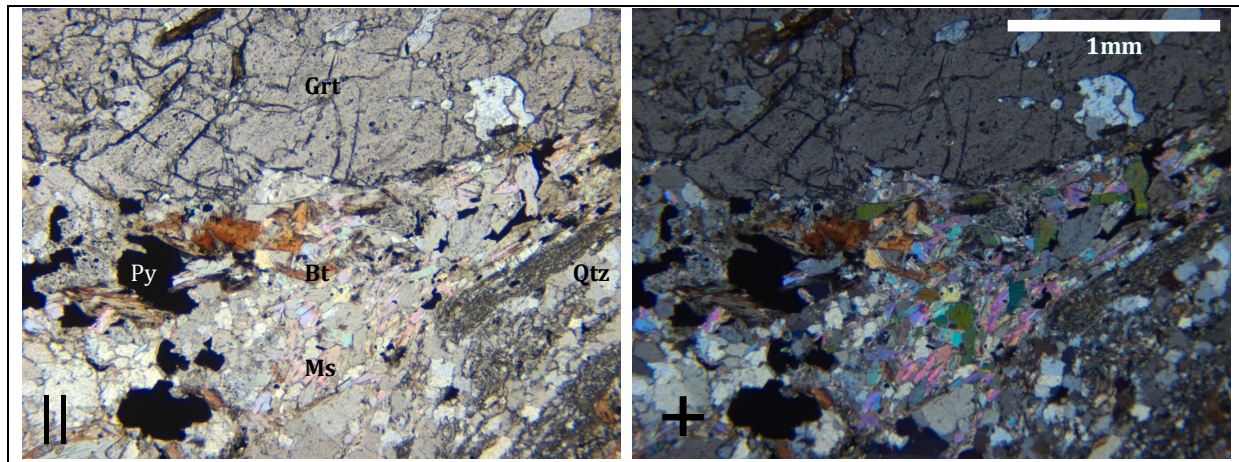


Abb. 24: Dünnschliff GN1, 40x, granatführender Gneis: Biotit (Bt), Muskovit (Ms), feinkörniger Quarz (Qtz) und subhedraler Pyrit (Py) neben einem großen, löchrigen Granat (Grt)

Wie eingangs erwähnt kann der Gneis optisch auch einen grünlichen Farbeindruck haben (Abb. 25). Dies ist auf den Amphibol (Ca-Amphibol = Hornblende, Tremolit?) sowie Epidot zurückzuführen und darf nicht mit der in Erznähe auftretenden Chloritisierung (Vergrünung) verwechselt werden. Akzessorisch ist feinverteilter Pyrit im gesamten Gestein vertreten.

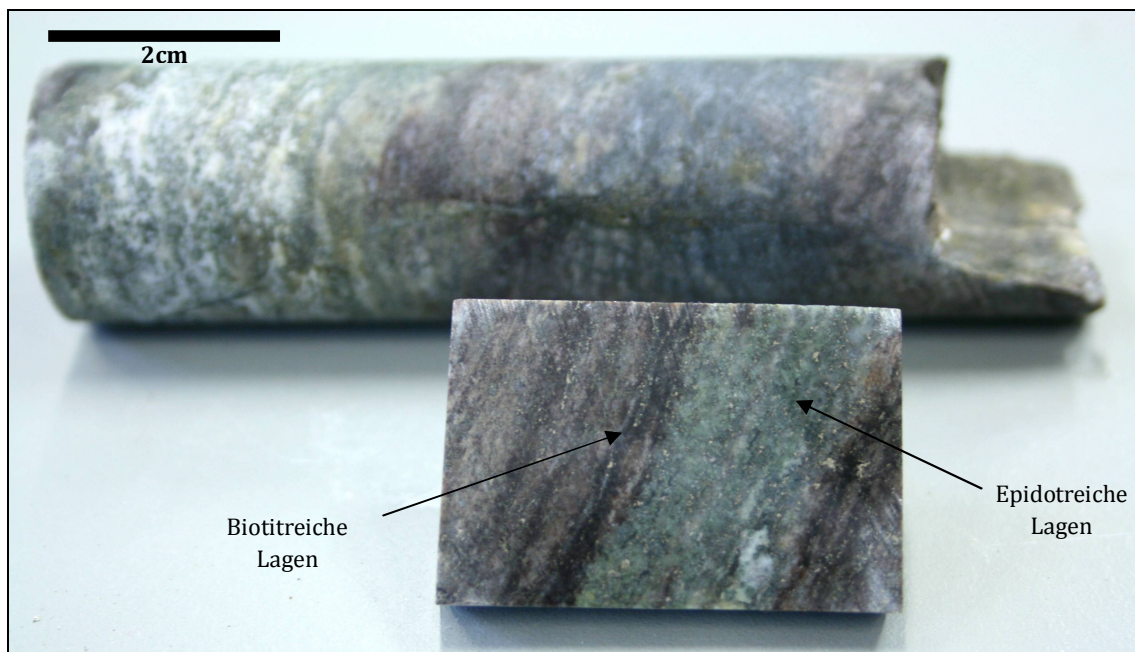


Abb. 25: Epidot und Amphibol führender Gneis GN2, Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 4, Bohrmeter 19,7

Untersuchte Probe: GN2 (Abb. 25)
 von Bohrkern UB9 Ost 19 (Kiste 4), Bohrmeter 19,7m

Dünnschliffbeschreibung GN2

Die dunkleren Lagen im Gneis entstehen durch den vermehrt auftretenden Biotit (Abb. 26). Die grün gefärbten Partien im Gneis (abseits der Chloritisierung respektive Vergrünung) sind auf den erhöhten Anteil an Epidot (Abb. 27) rückzuführen.

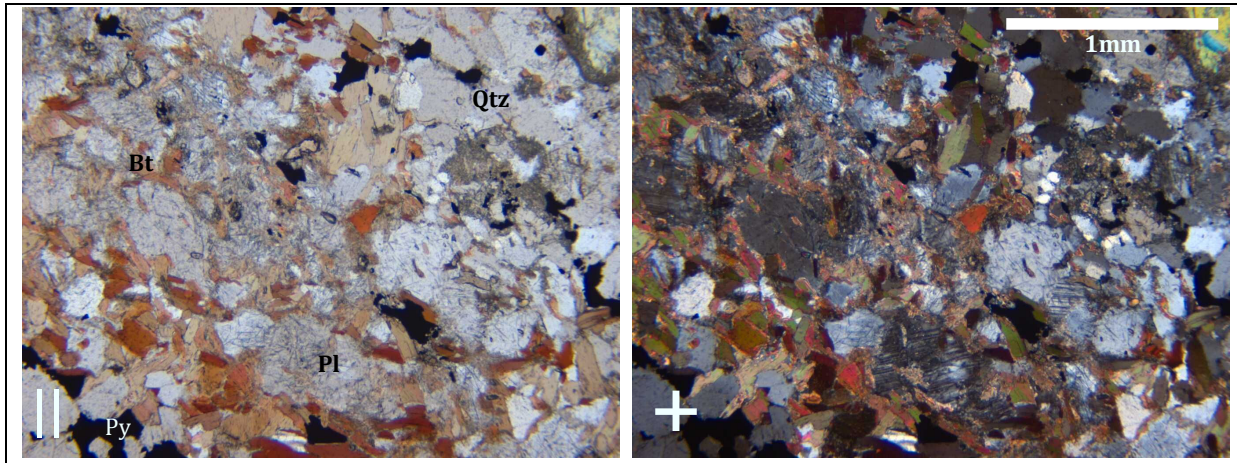


Abb. 26: Dünnschliff GN2, 40x, dunkler Gneis: Biotit (Bt), Quarz (Qtz), Plagioklas (Pl) und Pyrit (Py)

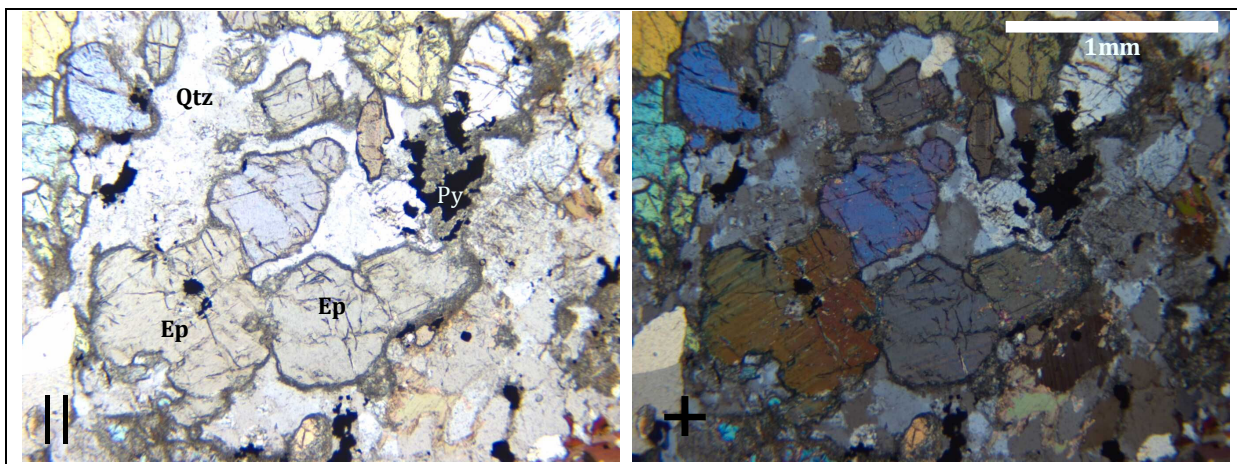


Abb. 27: Dünnschliff GN2, 40x, grüner epidotreicher Gneis: Epidot (Ep) und Pyrit (Py) in undulösem Quarz (Qtz)

5.3 Glimmerschiefer

Der (abschnittsweise granatführende) Glimmerschiefer ist im Vergleich zum Gneis meist etwas dunkler, da hier die Glimmerminerale Chlorit, Muskovit und speziell Biotit vermehrt auftreten. Der Farbeindruck reicht von grau bis hin zu dunkelgrau - schwarz sowie dunkelgrau - grün, in Bereichen mit erhöhter Chloritisierung.

Oftmals zeigt der Glimmerschiefer einen graduellen Übergang zum Gneis oder tritt in Wechsellagerung mit diesem auf. Dadurch ist stellenweise eine Unterscheidung sehr schwierig. Die Schieferung ist im Vergleich zum Gneis stärker ausgeprägt und vermindert die Festigkeit des Gesteins. Wie auch der Gneis zeigt der Glimmerschiefer Fältelungen sowie Faltungen im Meter - Bereich.



Abb. 28: Glimmerschiefer GS1, Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 12, Bohrmeter 61,1

Untersuchte Probe: GS1 (Abb. 28)
 von Bohrkern UB9 Ost 19 (Kiste 12), Bohrmeter 61,1m

Dünnschliffbeschreibung GS1

Das Gestein wird vorwiegend aus Biotit, Muskovit und Quarz aufgebaut. Erstere verleihen dem Gestein seine ausgeprägte Schieferung. Untergeordnet sind Feldspat (Plagioklas) und Kalzit vorzufinden. Ist letzterer vertreten, wird das Gestein als karbonatischer Glimmerschiefer angesprochen (Abb. 29). Das Auftreten von zertrümmerten respektive zersetzten Granaten (bis zu cm groß) ist ähnlich wie im Gneis. Er ist durch Risse in mehrere Bruchstücke zerlegt, wobei die ursprüngliche Form noch erkennbar ist. Der Pyrit befindet sich feinverteilt im gesamten Gestein.

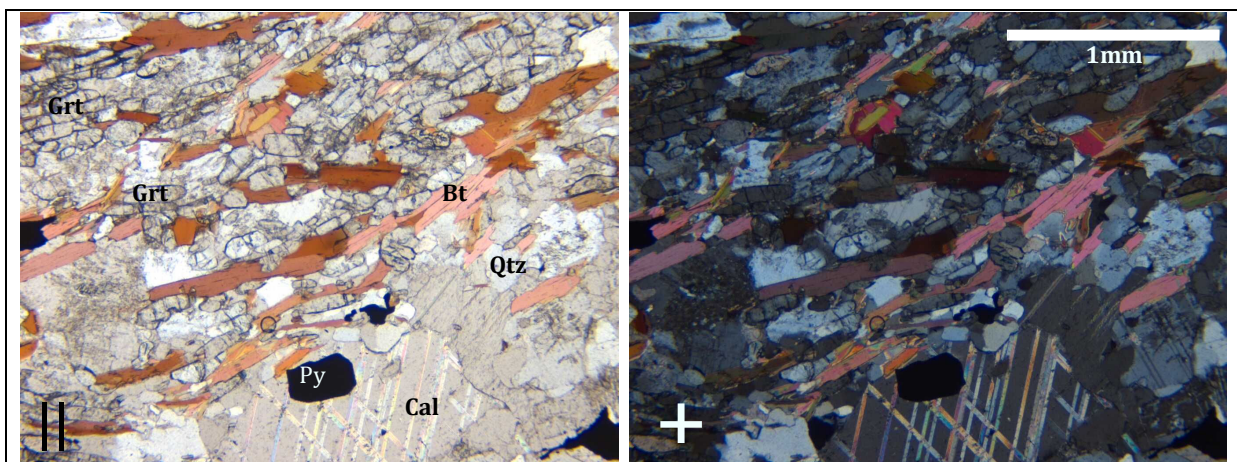


Abb. 29: Dünnschliff GS1, 40x, karbonatischer Glimmerschiefer: Biotit (Bt), Granat (Grt), Pyrit (Py), Kalzit (Cal) und undulöser Quarz (Qtz)

5.4 Kalksilikatschiefer

Der Kalksilikatschiefer ist in den graduellen Übergang von Gneis (abschnittsweise granatführend) zu Glimmerschiefer (abschnittsweise karbonatisch und/oder granatführend) einzuordnen.

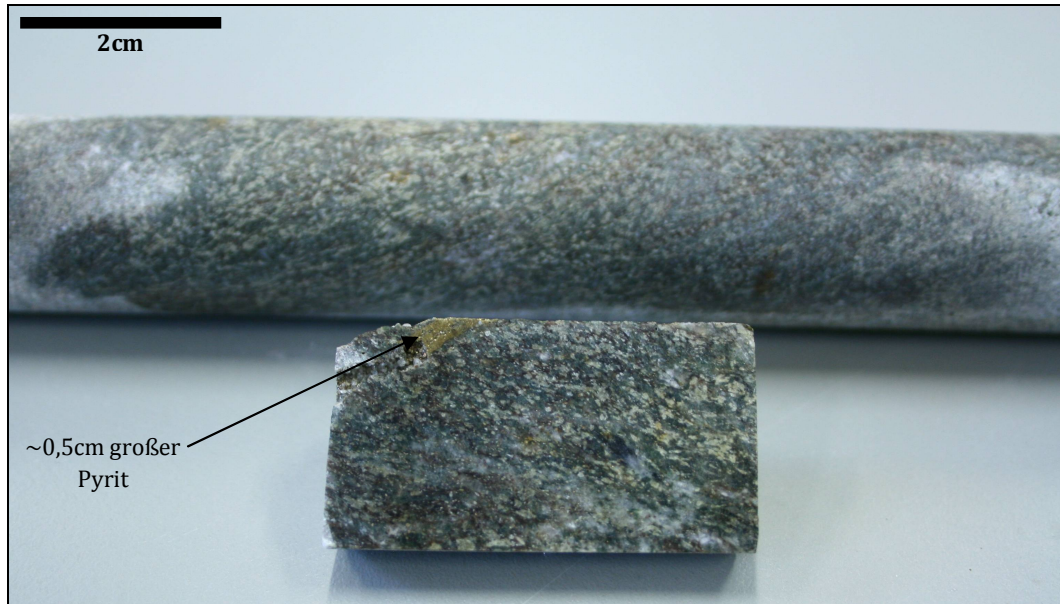


Abb. 30: Kalksilikatschiefer GS3, Bohrkern UL9 Ost 15, Kiste 3, Bohrmeter 16,5

Untersuchte Probe: GS3 (Abb. 30)
von Bohrkern UL9 Ost 15 (Kiste 3), Bohrmeter 16,5m

Dünnschliffbeschreibung GS3

Die Hauptgemengeteile sind Quarz, Biotit, Kalzit und Epidot (Abb. 31). Letzterer verleiht dem Gestein den grünlichen Farbeindruck, welcher nicht mit einer ernahen Chloritisierung verwechselt werden darf. Untergeordnet ist Kalzit, Granat, Muskovit, Titanit sowie feinverteilter und bis cm großer Pyrit vorzufinden.

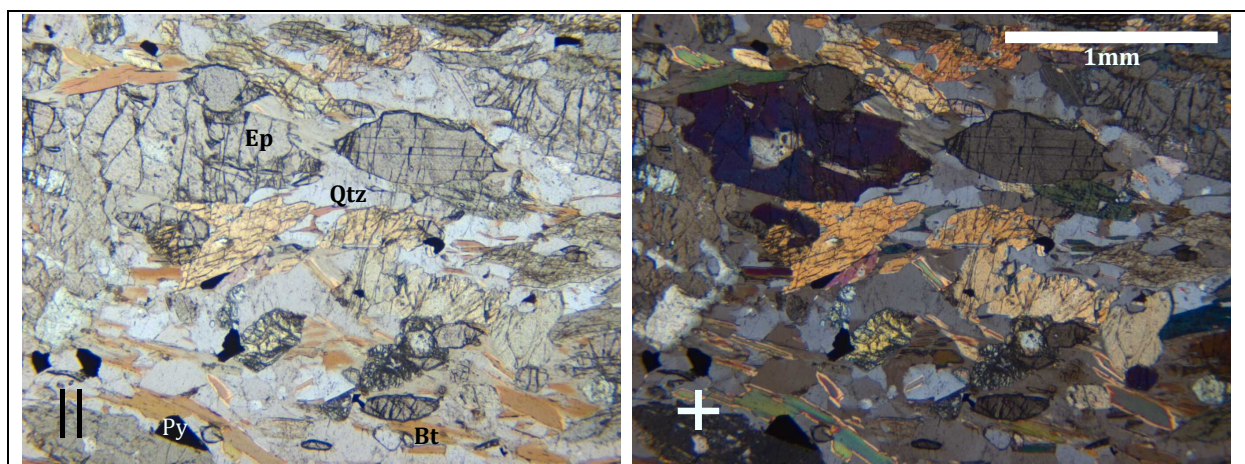


Abb. 31: Dünnschliff GS3, 40x, epidotführender Kalksilikatschiefer: Biotit (Bt), Pyrit (Py), Epidot (Ep) und Quarz (Qtz)

Zur Verifizierung der Mineralzusammensetzung wurden Raman – Messungen im Dünnschliff GS3 durchgeführt (Abb. 32).

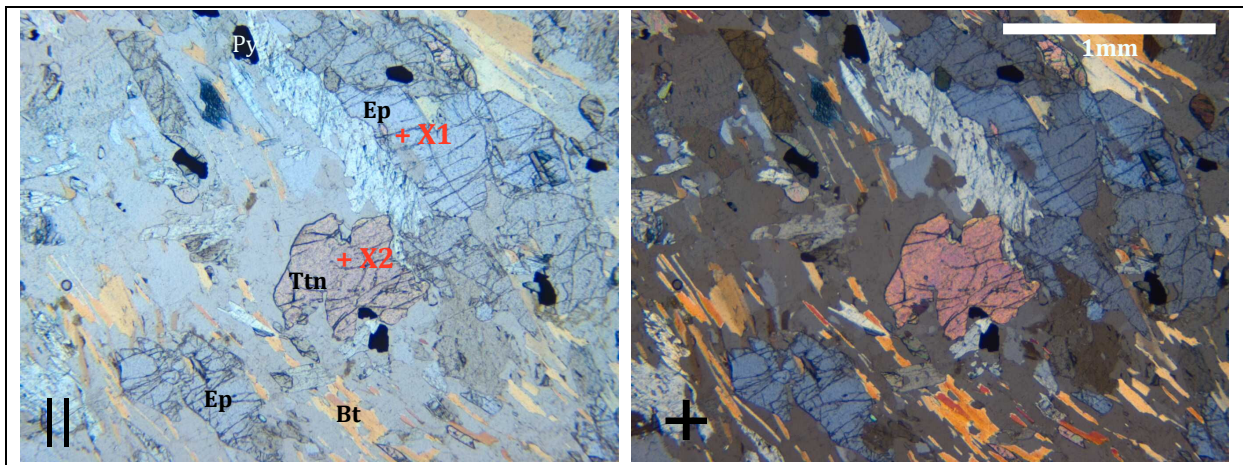


Abb. 32: Dünnschliff GS3, 40x, Kalksilikatschiefer: Biotit (Bt), Pyrit (Py), Epidot (Ep) und Titanit (Ttn) mit Raman-Messpunkte X1 und X2

Zur Identifizierung der Minerale (Abb. 33 und Abb. 34) wurde die bewährte RRUF – Online – Datenbank verwendet (www.rruf.info). Die gering auftretenden Abweichungen der Messergebnisse sind auf Unterschiede im Chemismus sowie auf die Probenvorbereitung (unpolierter Dünnschliff) zurückzuführen.

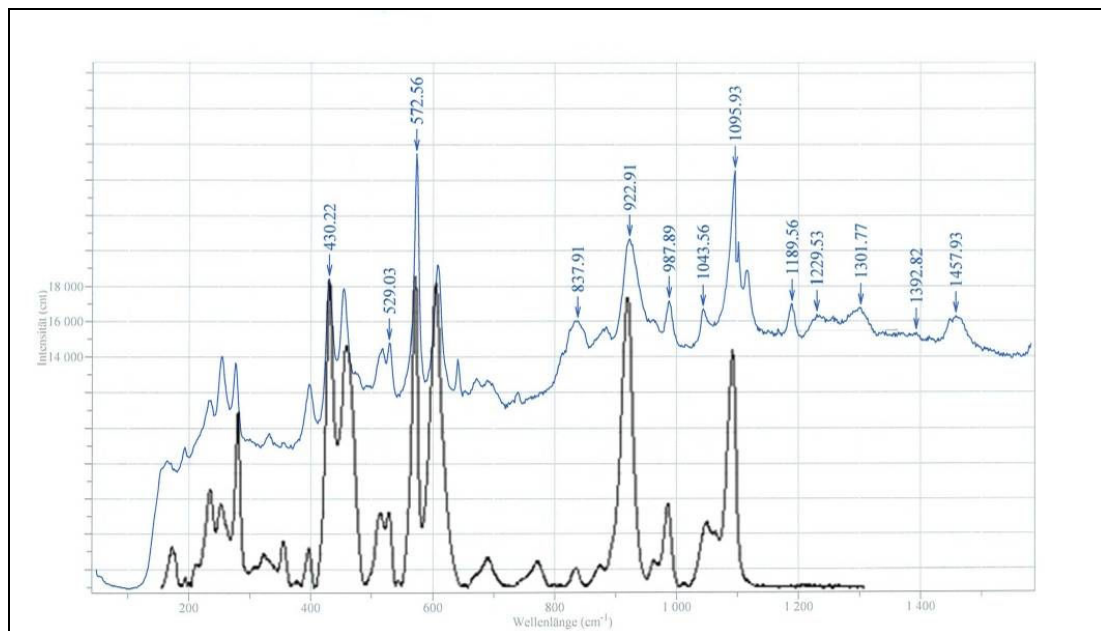
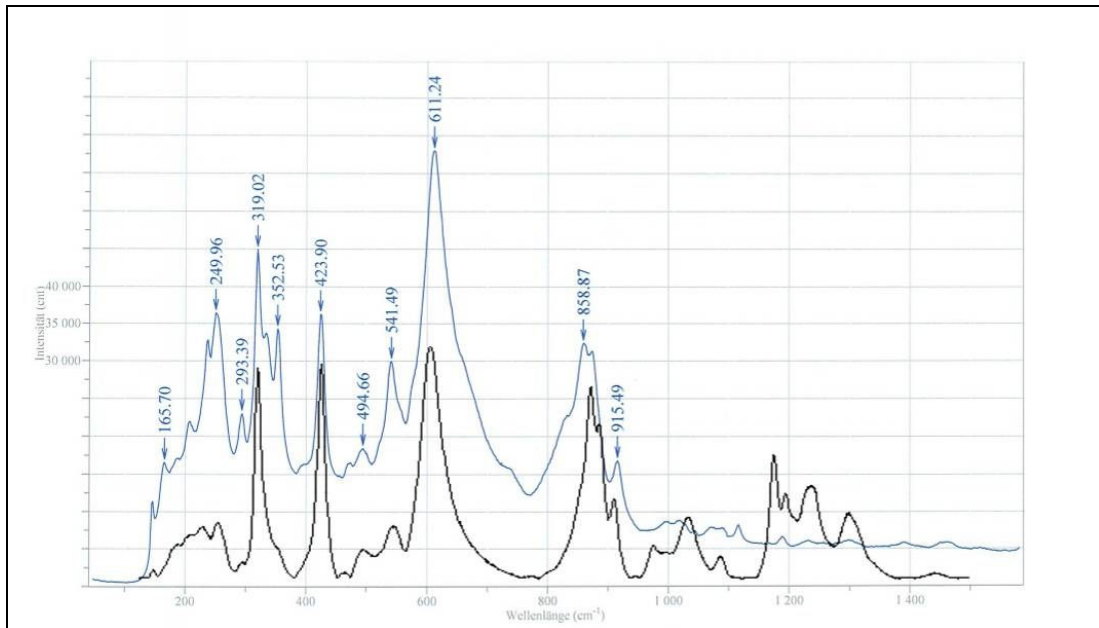


Abb. 33: Raman Spektrum EPIDOT,
blau: Messergebnis Dünnschliff GS3, Position X1,
schwarz: Messergebnis laut Datenbank (www.rruf.info/epidot),
Intensitäten (y-Achse) zur besseren Darstellung nicht angeglichen



**Abb. 34: Raman Spektrum TITANIT (SPHEN),
 blau: Messergebnis Dünnschliff GS3, Position X2,
 schwarz: Messergebnis laut Datenbank (www.ruff.info/titanit),
 Intensitäten (y-Achse) zur besseren Darstellung nicht angeglichen**

5.5 Grünschiefer

Dieser tritt meist am Kontakt Erz zu Nebengestein auf und weist auf die hydrothermale Aktivität hin. Das Hauptmineral ist der Chlorit, welcher dem Gestein die grüne Farbe verleiht (Abb. 35). Meist ist der Grünschiefer an Störungszonen gebunden und entfestigt. Es konnte ein gradueller Übergang von Glimmer- zu Grünschiefer festgestellt werden. Die Mächtigkeiten des Grünschiefers liegen in der Regel im Submeterbereich.

Abschnittsweise kann es sich beim Grünschiefer auch um einen stark alterierten und chloritisierten Silikatmarmor handeln. Dieser ist makroskopisch schwierig von einem alterierten, chloritisierten Glimmerschiefer zu unterscheiden.



Abb. 35: Grünschiefer GRSCH1, Bohrkern UB9 Ost 13, Kiste 3, Bohrmeter 12

Untersuchte Probe: GRSCH1 (Abb. 35)
 von Bohrkern UB9 Ost 13 (Kiste 3), Bohrmeter 12m

Dünnschliffbeschreibung GRSCH1

Der Chlorit tritt lagenförmig mit dem Muskovit (Hellglimmer) auf und verleiht dem Gestein die Schieferung (Abb. 36). Der Quarz zeigt suturierte, wellige Korngrenzen und eine undulöse Auslöschung. Stellenweise können feinverteilte Karbonate vorgefunden werden. Als opaque Akzessorien treten feinverteilter Pyrit sowie Hämatit als Belag in Klüften auf.

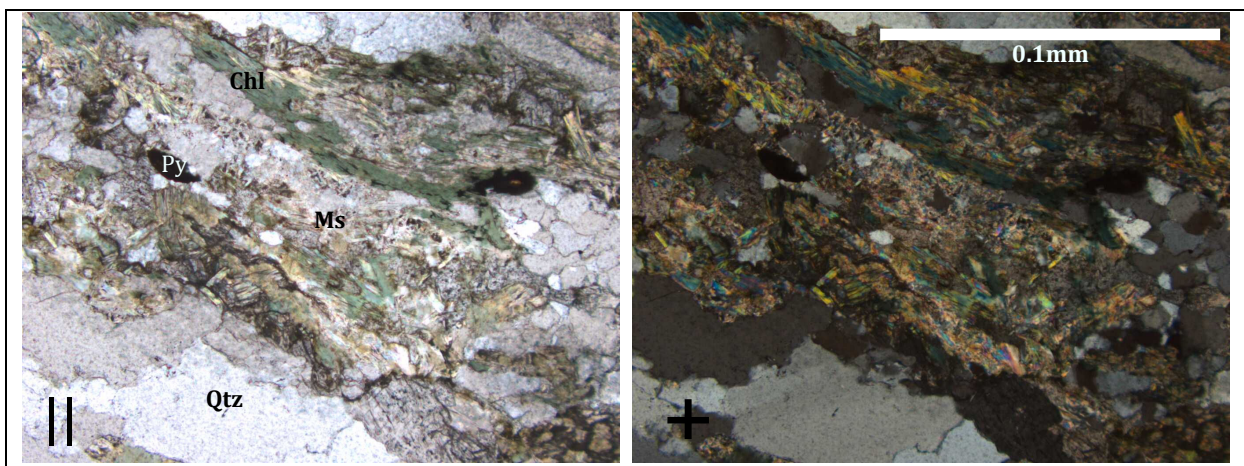


Abb. 36: Dünnschliff GRSCH1, 100x, Grünschiefer: Chlorit (Chl), Muskovit (Ms), Pyrit (Py) neben Quarzader (Qtz)

5.6 Eisenglimmer (Hämatit, Spekularit)

Der plättchenförmige Hämatit tritt linsenförmig innerhalb des Marmors-Silikatmarmors, meist am Kontakt Marmor-Silikatmarmor mit Gneis-Glimmerschiefer sowie als Kluftfüllung in tektonisch gestörten Bereichen auf. Die Erzkörper können eine Mächtigkeit von mehreren Metern und eine Längsausdehnung von mehreren Zehnermetern aufweisen. Der Eisenglimmer selbst ist schwarz, zeigt unterschiedlichste Härten (von erdig weich bis fest) und ist akzessorisch mit Pyrit sowie Chlorit verunreinigt. Das Erz kann aufgrund dessen in 3 makroskopische Klassen eingeteilt werden (Tabelle 2).

Meist tritt der Hämatit in Vergesellschaftung mit Pyrit und Chlorit auf (Abb. 37)

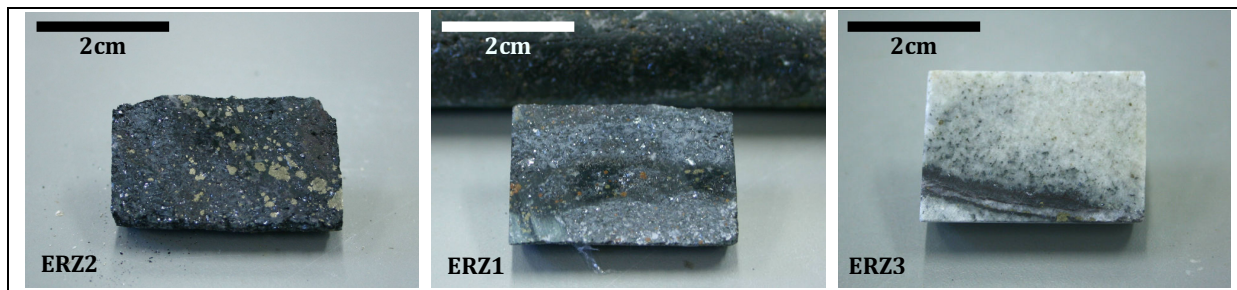


Abb. 37: Pyritreicher Hämatit (ERZ2), vergrünter/chloritisierter Hämatit (ERZ1), Hämatitader im Marmor (ERZ3)

Untersuchte Probe: ERZ1 (Abb. 37)
von Bohrkern UB Ost 18 (Kiste 1), Bohrmeter 3m

Dünnschliffbeschreibung ERZ1

Als Hauptgemengenteile treten Chlorit (~15%), Hämatit (~75%) und undulös auslöschender Quarz (~5%) auf (Abb. 38). Der Chlorit bildet zusammen mit Pyrit und Hämatit die Erzparagenese. Letzterer tritt in Bündel, fächer- und nadelförmig auf und zeigt keine Anzeichen einer Deformation (Abb. 39). Die nadelige Form des Hämatits im Dünnschliff kommt aufgrund des Schnitteffekts des plättchenförmigen Hämatits zustande. Als Nebengemengenteile sind Muskovit, Kalzit und Magnetit zu erwähnen.

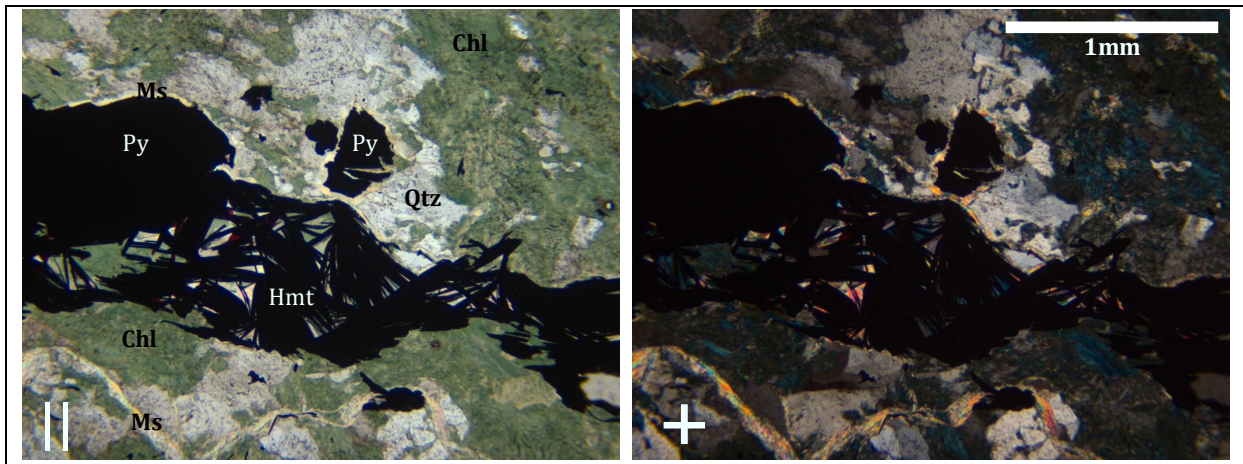


Abb. 38: Dünnschliff ERZ1, 40x: Hämatit (Hmt), undulöser Quarz (Qtz), Chlorit (Chl), Pyrit (Py) und Muskovit (Ms) in Lagen sowie als Saum um den Pyrit

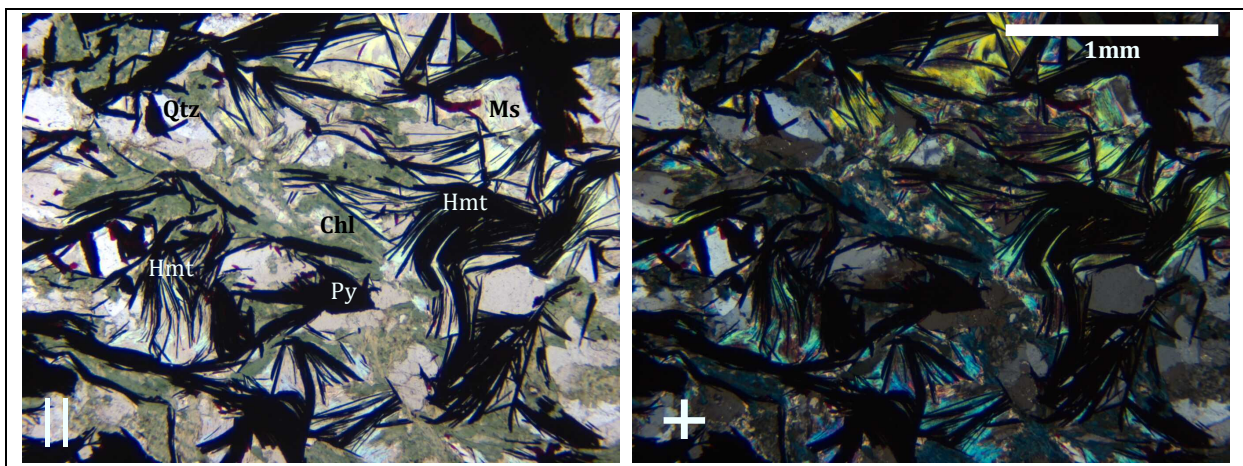


Abb. 39: Dünnschliff ERZ1, 40x: Nadeln und Bündel des plättchenförmigen Hämatits (Hmt), undulöser Quarz (Qtz), Chlorit (Chl), Pyrit (Py) und Muskovit (Ms)

Der Pyrit zeigt eine eu- bis subhedrale Form und ist oft von einem Muskovit/Serizit – Saum umgeben. Der Kontakt des Pyrits zum Hämatit ist gerade und regelmäßig, solange das Pyritkorn intakt d.h. unzerklüftet ist. Der Kontakt Pyrit zu Chlorit ist unregelmäßig und suturiert (Abb. 40).

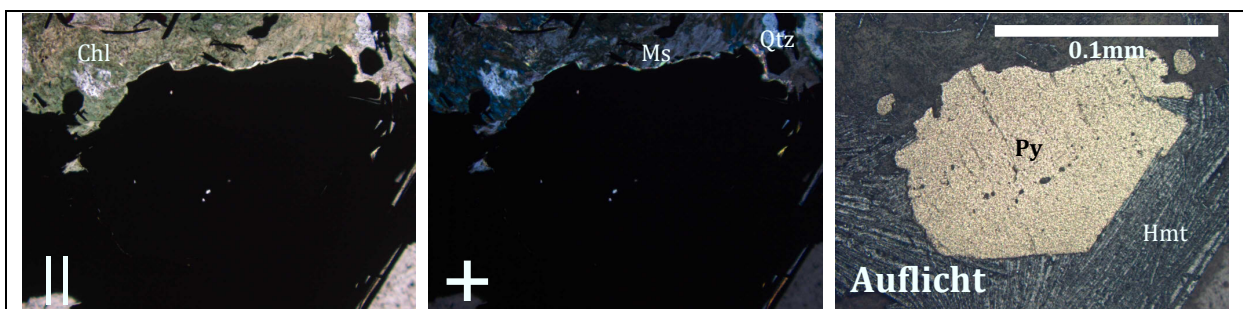


Abb. 40: Dünnschliff ERZ1, 100x: Fächerförmig kristallisierter Hämatit (Hmt), undulöser Quarz (Qtz), Chlorit (Chl), und Pyrit (Py) mit randlichem Muskovit (Ms)

Untersuchte Probe: ERZ2 (Abb. 37)
von Bohrkern UB Ost 18 (Kiste 1), Bohrmeter 1,4m

Dünnschliffbeschreibung ERZ2

Stellenweise ist der Pyrit komplett von Hämatit umgeben. Der teils zerbrochene Pyrit bietet in den entstandenen Klüften Platz für die Kristallisation von nadeligem Hämatit respektive Spekularit (Abb. 41 und Abb. 42). Es ist daher anzunehmen, dass der Pyrit vor dem Hämatit gebildet wurde.

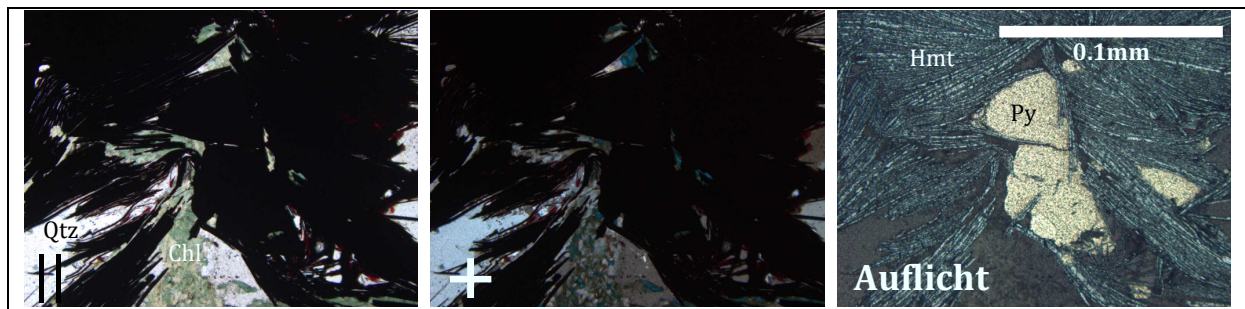


Abb. 41: Dünnschliff ERZ2, 100x: Hämatit (Hmt) in Klüften und am Rand des Pyrit (Py) neben Quarz (Qtz) und Chlorit (Chl)

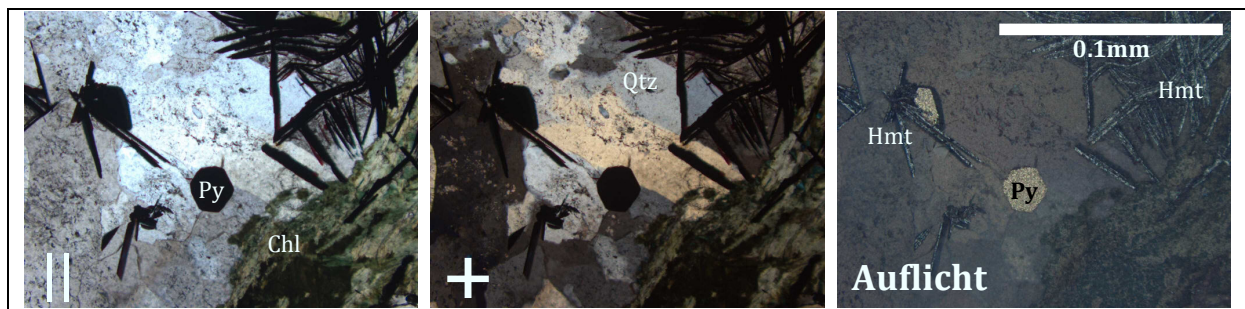


Abb. 42: Dünnschliff ERZ2, 100x: Euhedraler Pyrit (Py), nadeliger Hämatit (Hmt), Chlorit (Chl) und Quarz (Qtz)

5.7 Pegmatit (Pegmatoid)

Der Pegmatit besteht hauptsächlich aus Quarz, Feldspat und Muskovit. Grobkristalliner Feldspat (Plagioklas) sowie cm-große Muskovit-Plättchen geben dem Pegmatit einen sehr hellen, wolkenweiß-grauen Farbeindruck, welcher sich bei alterierten Bereichen aufgrund des Chlorits Richtung grün verschieben kann (Abb. 43). Der Pegmatit ist aufgrund des teilweise erhöhten Quarzgehaltes sehr hart und widerstandsfähig, was sich negativ auf den Bohrfortschritt sowie Meisselverschleiss auswirkt.

Der Pegmatit tritt in Form von Gängen (bis 20cm) und Linsen (bis 1,5m) im Nebengestein auf und zeigt keinerlei Schieferung. Gänge und Linsen durchschlagen manchmal quer zum Streichen den Silikatmarmor sowie Glimmerschiefer, meist verlaufen sie aber parallel zur Schieferung der umgebenden Gesteine. Eine Korrelation bzw. ein Zusammenhang zwischen Pegmatit und der Eisenglimmer - Vererzung konnte nicht festgestellt werden und wird aufgrund des Altersunterschieds ausgeschlossen. Aufgrund der Unregelmäßigkeit des Pegmatits kann dieser auch nicht als Markerhorizont verwendet werden.



Abb. 43: Pegmatit (PEG1), Bohrkern UB9 Ost 19, Kiste 12, Bohrmeter 55,9

Untersuchte Probe: PEG1 (Abb. 43)
 von Bohrkern UB9 Ost 19 (Kiste 11), Bohrmeter 55,9m

Dünnschliffbeschreibung PEG1

Als Hauptgemengeteile treten Feldspat (Plagioklas), Muskovit und undulös auslöschender Quarz auf (Abb. 44). Der Muskovit bildet meist dicke Glimmerpakete.

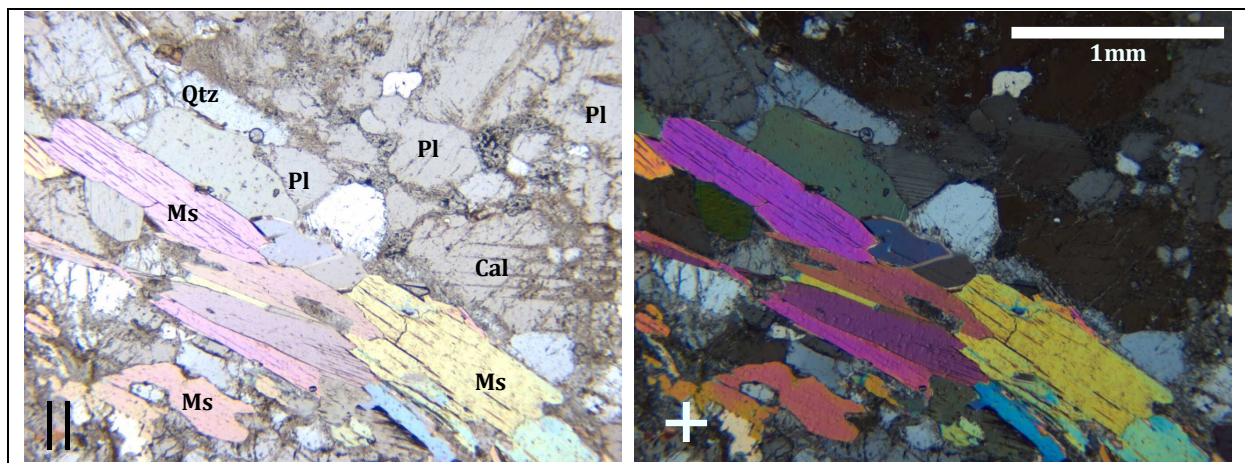


Abb. 44: Dünnschliff PEG1, 40x: Muskovitpakete (Ms), Quarz (Qtz), Plagioklas (Pl) und Kalzit (Cal)

Der Feldspat zeigt meist eine starke Serizitisierung, d.h. es befinden sich feinverteilte Glimmerminerale innerhalb des Feldspatkorns (Abb. 45).

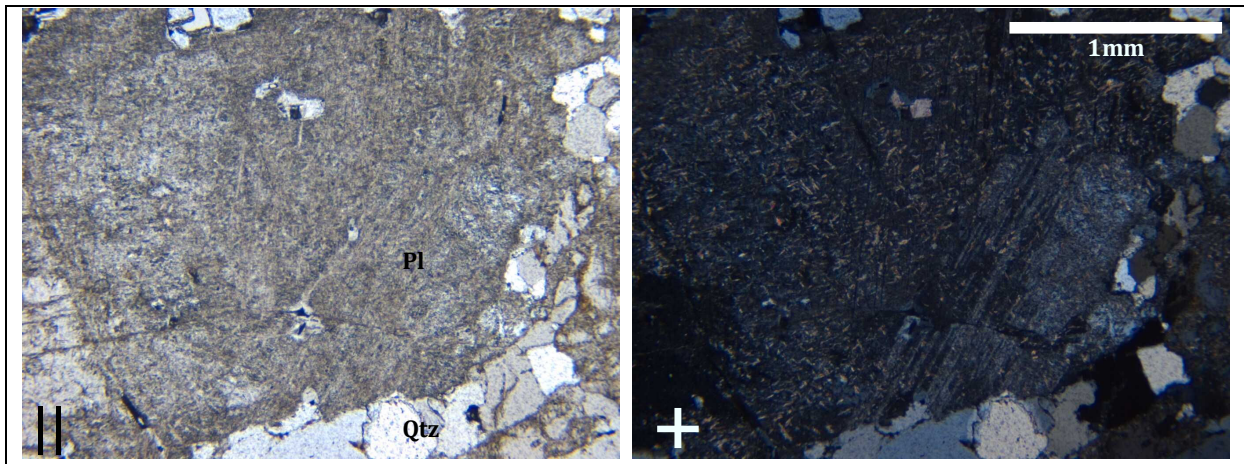


Abb. 45: Dünnschliff PEG1, 40x: Serizitisierter Feldspat (Plagioklas Pl) neben Quarz (Qtz)

Als Nebengemengeteile treten Turmalin und Epidot auf (Abb. 46). Ist Letzterer vorhanden, kann sich der Farbeindruck des Gesteins Richtung grün verschieben, ähnlich wie bei chloritführenden Pegmatiten.

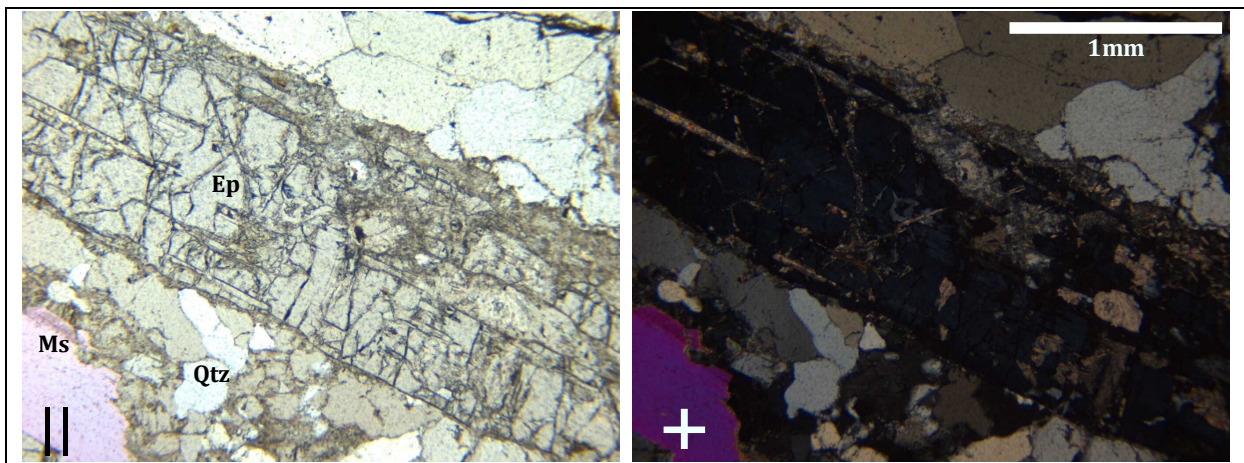


Abb. 46: Dünnschliff PEG1, 40x: Epidot (Ep) mit Quarz (Qtz) und Muskovit (Ms)

6 Tektonik und Metamorphosegeschichte

Der zuletzt alpidisch metamorphisierte Koralm Komplex wird durch eine polymetamorphe Geschichte mit Anzeichen von präalpidischen Ereignissen charakterisiert (FRANK et al. 1983; FRANK 1987).

Die metamorphe Geschichte der Koralpe ist eng verknüpft mit der der westlich davon gelegenen Saualpe. Die metamorphen Effekte des kristallinen Basements der Saualpe können in drei Deformations- sowie vier Metamorphosestadien eingeteilt werden (WEISSENBACH 1975).

Es können mehrere Phasen von Metamorphose und duktiler Deformation unterschieden werden. Im Grunde sind dies zwei variszische und ein alpidisches Ereignis. Die alpine Metamorphose wurde von Deckenstapelung begleitet (PROCHASKA et al. 1995).

Im Koralpenkristallin, in dem sich die Lagerstätte Waldenstein befindet, können vier metamorphe Zyklen unterschieden werden.

1. Hochdruck - Metamorphose: Höhepunkt vor ca. 340 Ma (Karbon)

Im Laufe des variszischen Zyklus kam es zur Akkretion von Gondwana stammenden Terranes mit Paläoeuropa. Der Koriden-Komplex (respektive das Koriden Terrane) wird dabei als hochmetamorpher Akkretionskeil interpretiert (FRISCH & NEUBAUER 1989), der sich aus Grauwacken/Schiefer-Abfolgen als Protolithe zusammensetzt (HERITSCH 1980). Es handelt sich um eine kompressive Hochdruckmetamorphose mit einem Höhepunkt vor ca. 340 Ma (MILLER & THÖNI 1995).

2. Niederdruck - Hochtemperatur-Metamorphose: Höhepunkt vor ca. 270 Ma (Perm)

Nach der variszischen Konsolidierung erfuhren die Basamenteinheiten des späteren Ostalpins eine Extension (SCHUSTER et al. 1999). Durch die Ausdünnung der Kruste erfolgte eine Niederdruck/Hochtemperatur Metamorphose mit einem Höhepunkt vor 270 Ma (SCHUSTER 2003). Dabei bildeten sich durch partielle Aufschmelzungen metamorph – anatektische Mobilisate (HABLER & THÖNI 1998) die in Waldenstein als Pegmatite respektive Pegmatoide auftreten. Der auf die obersten Teile des Koralm Komplexes beschränkte Plattengneis wird ebenfalls lokal von pegmatitischen Gängen durchzogen (KURZ et al. 2002).

3. Hochdruck – Metamorphose: Höhepunkt vor ca. 100 Ma (Kreide)

Die Kollision der ostalpinen Einheiten mit Teilen der adriatischen Platte führte zum sogenannten Eoalpinen Ereignis, wobei amphibolit- bis eklogitfazielle Bedingungen erreicht wurden (MORAUF 1980, MORAUF 1982; MILLER & FRANK 1983; MILLER 1990; THÖNI & JAGOUTZ 1992, THÖNI & JAGOUTZ 1993; EHLERS et al. 1994; EHLERS et al. 1995; STÜWE & POWELL 1995; MILLER & THÖNI 1997). Dabei kam es zur Schließung des Hallstatt – Meliata Ozeans. Der Höhepunkt der Metamorphose liegt bei ca. 100 Ma

(THÖNI & JAGOUTZ 1992, THÖNI & JAGOUTZ 1993; MILLER & THÖNI 1997). Die Deckenstapelung durch Überschiebungstektonik in west- bis nordwestlicher Richtung findet darin ihren Ursprung. Der Plattengneis („Stainzer Plattengneis“) bildet eine wichtige duktile Scherzone innerhalb des Ostalpinen Deckenkomplexes. Diese Hauptscherzone wurde während der Kollision in der frühen Kreide gebildet (FRANK 1987; KROHE 1987; STÜWE & POWELL 1995). Zusätzlich erfolgte eine Nord-Süd-Einengung begleitet von Überschiebungen, die im nördlichen Teil gegen Norden gerichtet sind (KROHE & FRANK 1981) und zu einer ESE gerichteten extensionellen Deformation führten (RATSCHENBACHER et al. 1989). Dieses Ereignis zeichnet sich im Korallen-Wölz-Deckensystem durch eine besonders druckbetonte Metamorphose aus (SCHMID et al. 2004). Die tektonische Struktur des Koriden-Gneis Komplexes (= Liegendes der Koriden) wird durch N-vergente Faltenstrukturen, welche während der kretazischen Überschiebung der Koriden auf die Muriden entstanden, geprägt (FRANK 1987).

4. *Spätalpidische niedriggradige Metamorphose*

Die ostalpinen Einheiten erfuhren im Zuge der Exhumierung respektive Freilegung der davon westlich gelegenen penninischen Einheiten eine maximal niedriggradige metamorphe Überprägung (HOINKES et al. 1999). Durch die von der tertiären Escapetektonik hervorgerufene Heraushebung der Koralpe kam es im Westen zur Ausbildung des gewaltigen Lavantaler Störungssystems mit Sprunghöhen von 4 bis 5km (Sprödetektonik). Der Waldenstein-Hüttenberg Eisenerzdistrikt ist räumlich und genetisch an diese transtensionalen Störungen gebunden (PROCHASKA et al. 1995). Die im Bereich Hüttenberg – Lavanttal – Seetaler Alpen weitverbreiteten Fe-Vererzungen zeigen eine auffällige Bindung an diese Bruchsysteme (EBNER 1997).

6.1 Strukturgeologische Aufnahme

Im Zuge der Kartierungsarbeiten konnten in der gesamten Lagerstätte mächtige, lehmführende NW – SE streichende sowie schieferungsparallele ENE – WSW verlaufende Störungszonen identifiziert werden. Sie wurden in einem gesonderten Schritt aufgenommen, klassifiziert und in der Gefügedatenbank gespeichert (Kapitel 8.4.4.5). Diese Störungen waren zwar teils in alten geologischen Karten eingezeichnet, wurden jedoch nicht bezüglich Mächtigkeit und Füllung bewertet.

Es handelt sich dabei um gestörte, kakiritisierte und lehmführende Bereiche mit einer Mächtigkeit von 0,1 bis 3m. Genau genommen müsste man von Störungskörpern sprechen, da diese eine Mächtigkeit besitzen. Ein Störungskörper wird somit beidseitig von Störungsflächen begrenzt.

Diese Großstörungen sind über weite Bereiche der gesamten Lagerstätte sowohl in den Strecken als auch Kernbohrungen verfolg- und verknüpfbar. Sie dienen als wichtige Information zur Feststellung der Lage neuer Erzkörper, da Störungen einerseits Erzkörper abschneiden (Absetzigkeit der Erzlinsen) und andererseits aufgrund der Hämatitspuren im Störungsletten als Zufuhrkanäle von erzführenden Fluiden angesehen werden.

In den insgesamt 105 Großstörungsmesspunkten konnten zwei vorherrschende Richtungen festgestellt werden. Einerseits streichen diese Störungen parallel zur Schieferung des Gneis und Marmors, andererseits gibt es auch querschlagende NW – SE verlaufende Großstörungen. Erstere sind auf die Kompetenzunterschiede respektive Festigkeitsunterschiede der angrenzenden Gesteine (Gneis versus Marmor) zurückzuführen. Letztere erklären die schon in der Vergangenheit festgestellte hohe Absetzigkeit der Erzkörper respektive -linsen und spiegeln sich in den topologischen Merkmalen der Umgebung (Knick im Waldensteinerbach, Verlauf von Bergrücken) wieder. Sie sind auf junge, sprödetektonische Vorgänge während der tertiären Exhumierung der Koralpe zurückzuführen. Diese essentiellen Informationen konnten durch eine strukturierte und standardisierte Gefügedatenverwaltung (Kapitel 8.4.4.5) mit anschließender Auswertung gewonnen werden.

6.2 Strukturgeologische Auswertung

Alle strukturgeologischen Auswertungen wurden mit der Software Tectonics FP durchgeführt. Die entsprechenden Daten wurden aus der Gefügedatenbank des GEOrganizers (Kapitel 8.4.4.5) entnommen.

Die Auswertung der Schieferungsflächen im Marmor-Silikatmarmor sowie im Gneis-Glimmerschiefer lieferten ein sehr ähnliches Ergebnis (Abb. 47). Die Schieferungsflächen fallen überwiegend steil (70-80°) Richtung NNW ein und streichen ENE – WSW. Das Einfallen wechselt abschnittsweise auf SSE. Diese Variation der Einfallrichtung sowie auch des Einfallwinkels ist auf die großräumige Faltenstruktur innerhalb der Lagerstätte zurückzuführen.

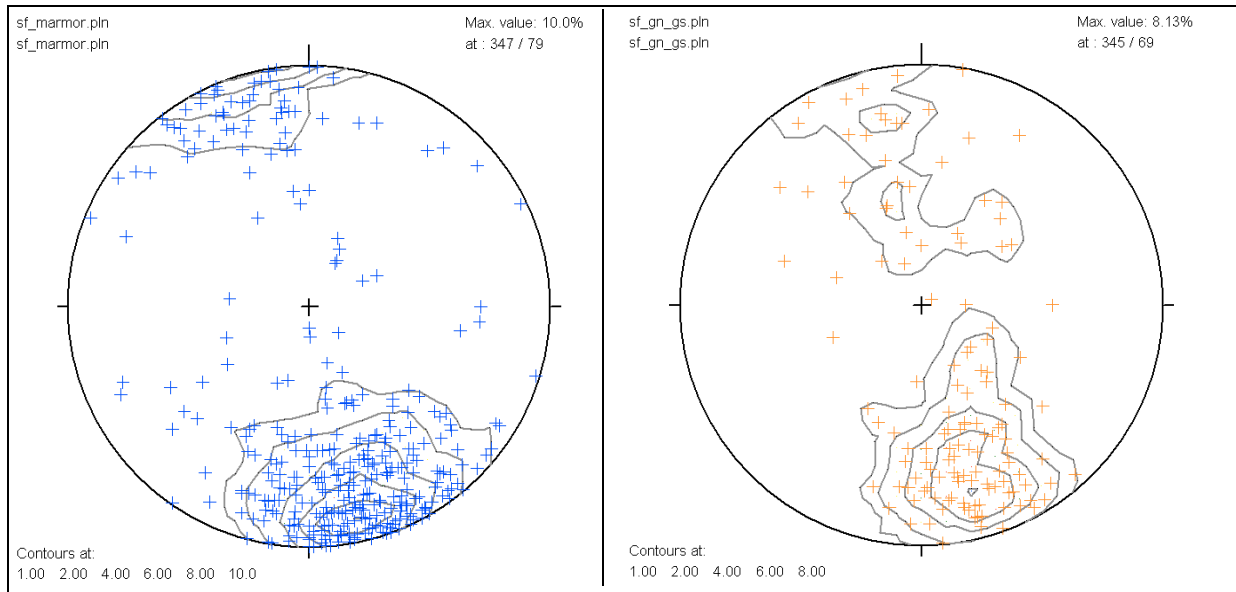


Abb. 47: Polpunkte und Contourplot der Schieferungsflächen aller Gefügemesspunkte für Marmor-Silikatmarmor (links, 400 Messpunkte) und Gneis-Glimmerschiefer (rechts, 140 Messpunkte)

Die im Marmor-Silikatmarmor und Gneis-Glimmerschiefer gemessenen Faltenachsen konnten über eine Eigenvektoranalyse der Schieferungsflächen bestätigt werden. Sie verlaufen vorwiegend Richtung ENE ($\sim 70^\circ$) sowie WSW ($\sim 260^\circ$) und fallen flach ($<10^\circ$) ein (Abb. 48). Aufgrund des flachen Einfallens „pendeln“ die Faltenachsen zwischen ENE und WSW.

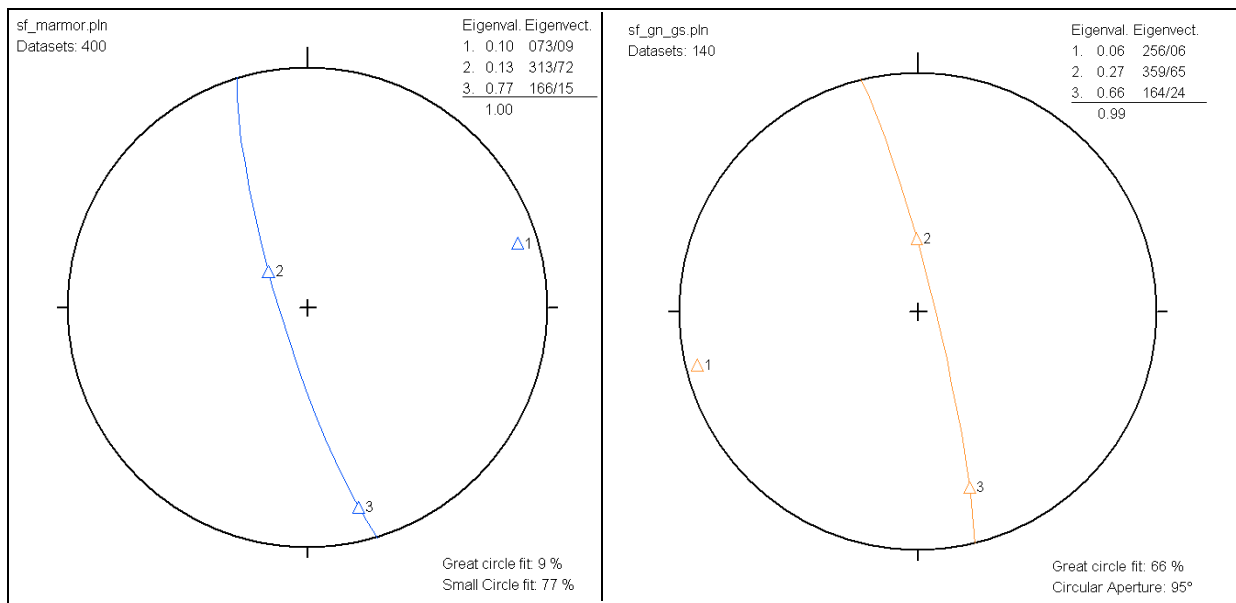


Abb. 48: Eigenvektoranalyse zur Bestimmung der Faltenachse (Eigenvektor 1) für Marmor-Silikatmarmor (links, 400 Messpunkte) und Gneis-Glimmerschiefer (rechts, 140 Messpunkte)

Bei der Analyse der Störungsflächen in der Lagerstätte Waldenstein kristallisierten sich zwei Hauptdomänen heraus. Einerseits sind dies die meist parallel zu den Schieferungsflächen des Marmor-Silikatmarmors und Gneis-Glimmerschiefers verlaufenden Störungsflächen, welche überwiegend steil ($\sim 80^\circ$) Richtung NNW einfallen (Abb. 49). Sie sind vermutlich auf Kompetenzunterschiede der angrenzenden Lithologien zurückzuführen. Andererseits wird eine zweite Domäne aus Störungsflächen aufgebaut, welche vorwiegend steil Richtung NE einfallen. Sie sind für die schon in der Vergangenheit postulierte starken Absetzigkeit der Erzlinsen verantwortlich. Die im Kapitel 6.1 erwähnten Großstörungen, welche meist Störungsletten führen und Mächtigkeiten von 0,1 bis 3m besitzen, weisen dieselben Hauptdomänen der Störungsflächen auf und sind vermutlich durch das gleiche tektonische Ereignis entstanden.

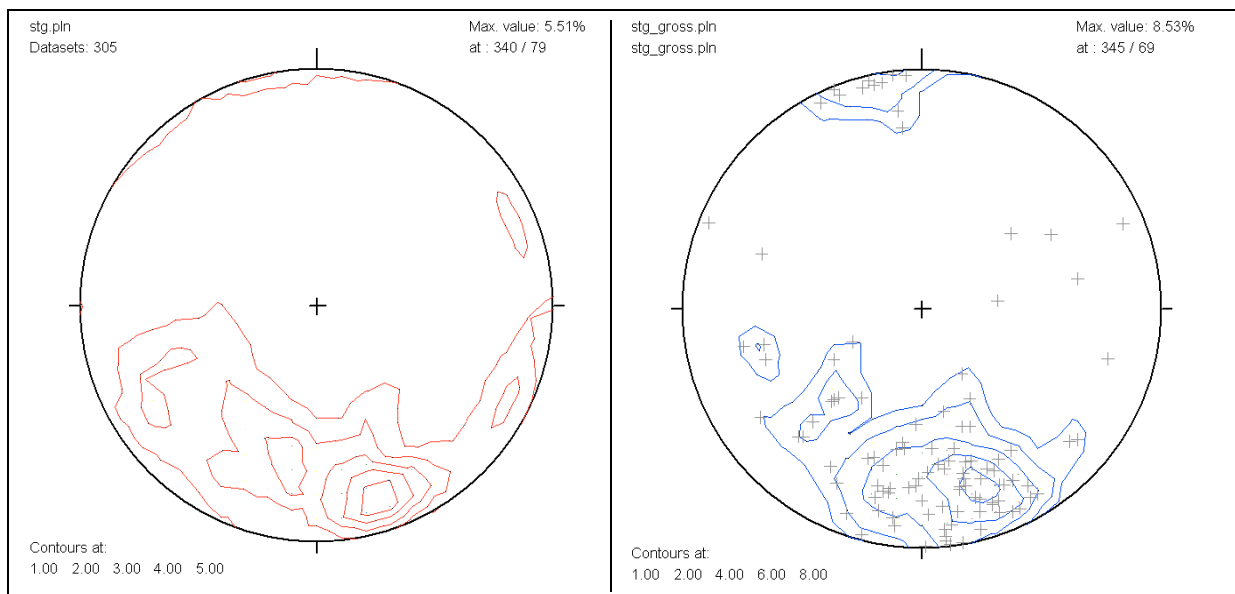


Abb. 49: Contourplot der Störungsflächen; alle Störungen (links), nur Großstörungen (rechts)

Eine Auswertung des Pegmatits ist nicht möglich, da dieser keinerlei Schieferungsflächen vorweist. Dasselbe gilt für den Eisenglimmer, der als schieferungsloses, meist weiches Wertmineral innerhalb der Lagerstätte auftritt.

7 Folgerungen für die Geneseinterpretation

Seit Jahrzehnten befasst man sich schon mit der Lagerstätte Waldenstein. Die ersten ausführlichen, geologischen, obertägigen sowie untertägigen Beschreibungen stammen von O.M. FRIEDRICH (FRIEDRICH 1929). Es folgten Kartierungen von METZ, PIRKL (PIRKL 1976) und POHL. Letzterer erklärte die Entstehung des Eisenglimmers als eine synsedimentäre hydrothermale Reaktion. BECK-MANNAGETTA (BECK-MANNAGETTA 1970) stellte fest, dass die tiefsten Teile der Marmor Serie der Koralpe (welche an die Preimser Serie der westlich gelegenen Saualpe anschließen) das Eisenglimmervorkommen von Waldenstein führen.

Zu den neueren Arbeiten zählt die Dissertation von I.M.A. AWAD (AWAD 1983), welcher detaillierte geochemische sowie petrographische Untersuchungen an der Lagerstätte Waldenstein durchführte und für eine syngenetisch, vulkano-sedimentäre Erzanreicherung plädierte. Montangeologische Aufnahmen der Obertagesituation sowie untertägige Kartierungsarbeiten im Bereich Unterbau werden in der Diplomarbeit von M. LINTSCHNIG (LINTSCHNIG 1992) festgehalten.

Die aktuellsten Ergebnisse bezüglich Genese kommen von Prochaska (PROCHASKA et al. 1995), der aufgrund der vorgefundenen Alteration und radiometrischen Datierungen des Serizites auf eine epigenetische Verdrängungsmineralisation der Lagerstätte Waldenstein schließt.

Durch die im Zuge der Kartierungsarbeiten sowie 3d-Lagerstättenmodellierung und petrographischen Untersuchungen gewonnen Erkenntnisse kann von einer epigenetischen, hydrothermalen Entstehung der Lagerstätte Waldenstein gesprochen werden, was im Folgenden genauer erläutert wird.

Grundsätzlich ist die Eisenglimmermineralisation an die ENE-WSW streichenden Marmoreinschaltungen im Gneis-Glimmerschiefer gebunden. Die mächtigsten Erzkörper stehen zudem in Zusammenhang mit NW – SE streichenden Störungen (Abb. 49). Sie treten offensichtlich dort auf, wo diese Strukturen den Marmor durchsetzen (Abb. 50). Die Störungen sind außerdem meist mit Störungletten gefüllt, weisen Erzspuren auf und werden deshalb als Zufuhrkanäle für erzführende Fluide interpretiert. Gleichzeitig scheinen diese auch die Erzkörper nach Westen und Osten hin zu begrenzen, was auf eine Reaktivierung dieser Strukturen hinweisen könnte. Diese NW-SE verlaufenden Störungszonen stimmen mit der Raumlage des ca. 4km westlich gelegenen tertiären Lavanttaler Störungssystems überein. Weiters bilden ENE-WSW streichende, meist am Kontakt Marmor-Silikatmarmor zu Gneis-Glimmerschiefer auftretende Störungen schieferungsparallele Migrationsmöglichkeiten für erzführende Fluide und sind somit für die ausgelängte Form und geringe Mächtigkeit der Erzkörper verantwortlich (Abb. 50). Dies führt zu einem teils lagenförmigen, stratiformen Vererzungsbild und wurde in der Vergangenheit als Anzeichen einer synsedimentären Entstehung gesehen.

Eine deutliche Alteration (Chloritisierung, Vergrünung) des Nebengesteins ist im unmittelbar an die Erzkörper angrenzenden Bereiche zu beobachten. Diese Vergrünung ist in der Prospektion von grün gefärbten, epidotführenden Gesteinen (Gneis und Kalksilikatschiefer) zu unterscheiden. Der darin befindliche Epidot, der nur in niedriggradig metamorphen Gesteinen

stabil ist, dürfte bei der jüngsten niedriggradigen Metamorphose respektive retrograd gebildet worden sein.

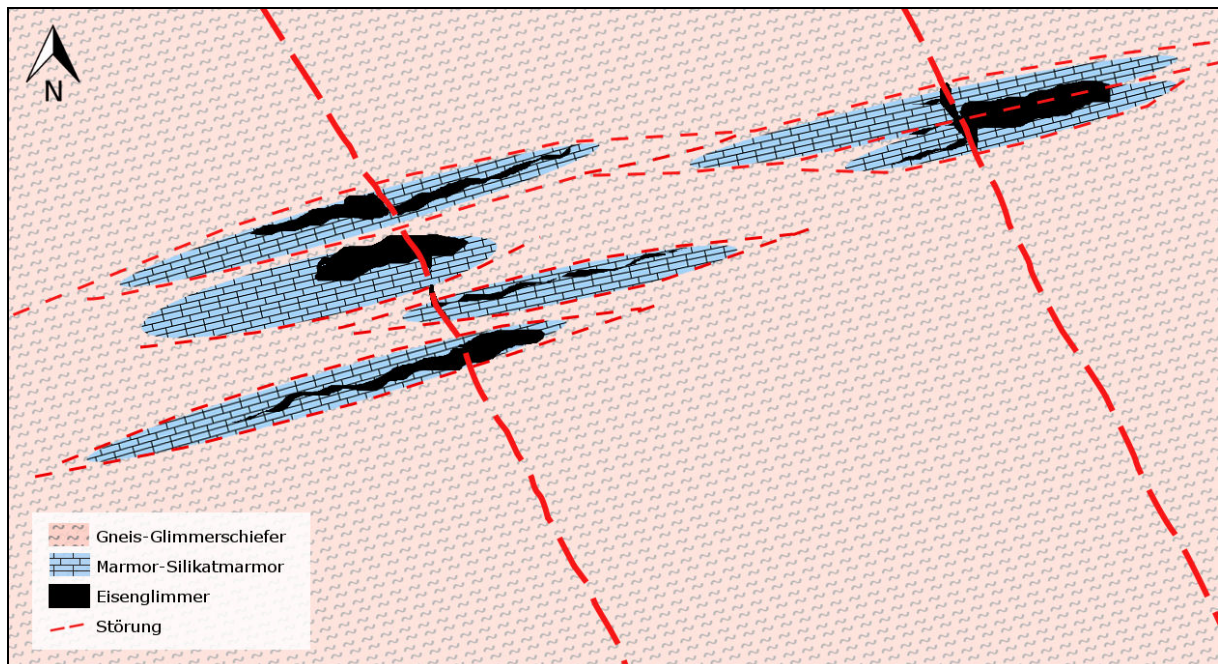


Abb. 50: Schematische Darstellung der vererzungskontrollierenden Lithologien und Strukturen für die Lagerstätte Waldenstein

Die petrographischen Untersuchungen der Erzproben zeigten den durch hydrothermale Reaktionen gebildeten Chlorit sowie den im Dünnschliff nadelige erscheinenden, undeformierten Eisenglimmer (Abb. 39). Dessen Entstehung ist deshalb jedenfalls jünger als die letzte prägende (kretazische) Metamorphose, was ebenfalls gegen eine syngenetische Entstehung spricht.

Die vorgefundenen, makroskopisch zu unterscheidenden Erzklassen (Tabelle 2) widerspiegeln die metasomatische und unregelmäßige Verdrängung des Marmors unter Inplatznahme des Eisenglimmers. Die vorgefundene Erzbrekkzie (Marmorbruchstücke eingebettet in Eisenglimmer) weist beispielsweise auf eine unvollständige Verdrängung des Marmors hin.

Die in früheren Arbeiten erwähnten Einschaltungen von basischen Metavulkaniten (Orthoamphiboliten), welche als Hinweis auf vulkanische Tätigkeit angeführt wurden, konnten nicht bestätigt werden. Lediglich untergeordnet auftretende amphibolführende Gesteine konnten kartiert und beobachtet werden.

8 Modellerstellung & geologische Datenverwaltung

In den verschiedenen Disziplinen der Montangeologie besteht die Notwendigkeit, zur Erkennung übergeordneter Zusammenhänge sowie zur Entscheidungsfindung auf geologische Daten einfach und schnell zurückgreifen zu können. Die meist für unterschiedlichste Zwecke erhobenen Daten bilden eine inhomogene Datengrundlage, was zu einer Isolation dieser führen kann. Das Ziel besteht darin, die in den vorangegangenen Kapiteln erwähnten geologischen Informationen (Bohrkernaufnahmen, Untertagekartierungsarbeiten) zu erheben und in einer zentralen Datenbank abzulegen bzw. diese damit zu verknüpfen. Dazu wurde eine neue Datenbankanwendung namens GEOrganizer entwickelt. Die Schaffung dieser zentralen Datenbank soll einerseits Datenverluste vermeiden und andererseits eine Dokumentation dieser darstellen und zusätzlich einen einfachen Zugriff gewährleisten, indem bereits spezifische Abfrage- und Exportmöglichkeiten bereitgestellt werden.

Alle verfügbaren geologischen Daten wurden in ein 3d-Lagerstättenmodell implementiert, welches unabhängig vom Genesemodell (Abb. 4) ist und somit eine strikte Trennung zwischen den dokumentierten geologischen Daten und der Interpretation darstellt. Dies bedeutet also, dass das erstellte 3d-Lagerstättenmodell sowohl von Anhängern der syngenetischen als auch epigenetischen Entstehungsgeschichte verwendet werden kann.

8.1 Ausgangssituation

In den Jahren des aktiven Betriebes des Bergbaus Waldenstein kam es zu einer beachtlichen Ansammlung von bergbaulichen sowie geologischen Informationen, angefangen von handschriftlichen Bohrkernaufzeichnungen über Betriebspläne bis hin zu diversen geologischen Untertagekartierungskarten (z.B. von Studenten der Montanuniversität Leoben). All diese Informationen wurden bis dato im Archiv sowie extern gelagert, ohne über dessen Umfang Bescheid zu wissen und ohne dessen Inhalt zu nutzen. Trotz der Datenvielfalt und -menge gab es bis vor Kurzem kein standardisiertes Datenmanagementsystem für geologische Daten sowie elektronische Sammlung und Darstellung dieser. Hierzu wurde im Zuge dieser Diplomarbeit ein geologisches 3d-Lagersättenmodell (Kapitel 8.5) mit angeschlossenem geologischen Datenmanagementsystem (namens GEOrganizer, Kapitel 8.4.4) erstellt. Die einzelnen verstreut vorliegenden geologischen Informationen wurden nach erarbeiteten Standards und Richtlinien zusammengefügt und ergeben nun ein aussagekräftiges Gesamtbild.

8.2 Verwendete Software

Aufgrund der angefallenen Datenmenge wurde auf die Verwendung von Datenbanken in Microsoft Access (Kapitel 8.2.2) anstatt wie bisher Tabellen in Microsoft Excel gewechselt, um diese konfliktfrei und geordnet speichern und dokumentieren zu können. Zur dreidimensionalen Darstellung und Weiterverarbeitung wurde auf die Bergbauplanungssoftware Surpac Vision zurückgegriffen. Somit werden die Vorteile einer Datenbank, nämlich einer konfliktfreien und leistungsvollen Datenverwaltung und -speicherung mit der eines professionellen Visualisierungsprogrammes (Surpac Vision) verknüpft.

8.2.1 Microsoft Excel

Bereits vorhandene (alte) Bohrprotokolle, welche als handschriftliche Aufzeichnungen vorlagen, wurden in Excel eingegeben und sortiert. Aufgrund der beträchtlichen Datenfülle war es kaum möglich, den Überblick im Excel-File mit ca. 7000 Zeilen zu bewahren bzw. Fehler (Tippfehler, doppelte Einträge, etc.) zu identifizieren und zu korrigieren. Deshalb wurden alle Daten zentral in eine neu entwickelte Access Datenbankanwendung namens GEOrganizer übernommen (Kapitel 8.4.4) und anschließend einer Überprüfung und Bereinigung unterzogen. Zukünftig soll die Verwendung von verteilten und unabhängigen Excel Dateien durch die geschaffene zentralisierte Datenbank ersetzt werden.

8.2.2 Microsoft Access

Access ist ein Datenbankmanagementsystem zur Verwaltung von Daten in Datenbanken und zur Entwicklung von Datenbankanwendungen mit grafischen Eingabemasken und somit erhöhter Benutzerfreundlichkeit.

Im Zuge der Diplomarbeit wurde eine Datenbankanwendung namens GEOrganizer entwickelt, welche für die Verwaltung und Dokumentation von Hammerbohr-, Kernbohr-, Gefüge- und Kartierungsdaten sowie Betriebsplänen verantwortlich ist (Kapitel 8.4.4). In Zusammenspiel mit der Bergbauplanungssoftware Gemcom SurpacVision (Kapitel 8.2.3) können darin gespeicherte Raumdaten (jene, die x, y und z Koordinaten besitzen) dreidimensional dargestellt, bearbeitet und analysiert werden.

Der Import von Microsoft Excel Dateien in Access ist einfach und leicht zu bewerkstelligen, wie es bei den alten Bohrkernaufzeichnungen, welche als Excel-Dokument vorlagen, der Fall war. Access bietet bei großen Datenmengen mehr Flexibilität, einen höheren Funktionsumfang und kann im Gegensatz zu Excel diese auch konfliktfrei und übersichtlich handhaben und speichern. Zukünftig werden Bohrprotokolle der Hammer- sowie Kernbohrungen und Gefügedaten direkt über eine grafische Eingabemaske in den GEOrganizer eingetragen (Abb. 59). Das Eintragen und Aktualisieren neuer Bohrdaten ist somit schneller, einfacher und sicherer. Ferner verhindert die

zentrale Datenbank GEOrganizer einen Verlust der bisher inhomogen verteilten und nicht standardisierten Daten.

8.2.3 Gemcom SurpacVision 6.1

Bei SurpacVision (kurz Surpac) handelt es sich um eine Bergbauplanungssoftware der Firma Gemcom. Surpac ist nicht nur ein planerisches und markscheiderisches Programm im Bergbausektor, sondern vielmehr ein funktionelles Werkzeug für Geologen.

Surpac verwendet standardmäßig Access-Datenbanken zur Verwaltung von Bohrlochdaten. Innerhalb Surpacs können auch mittels der freien Programmiersprache TCL (tool command language), einer Open Source Skriptsprache, eigene Funktionen geschrieben und ausgeführt werden. Dabei können TCL sowie SCL - Befehle (Surpac Command Language) miteinander verknüpft werden. Dies dient speziell zur Automatisierung ansonsten sehr zeitaufwändiger Arbeitsschritte.

Theoretisch kann jede Datenbank mit Surpac verbunden werden. Im Internet sind programmierte Schnittstellen wie z.B. TCL to MySQL gratis downloadbar, da es sich wie vorhin erwähnt um eine Open Source Skriptsprache handelt. Allerdings sind Daten nur dann in Surpac importierbar respektive lesbar, wenn diese eine X, Y & Z Koordinate besitzen. Diese sind zwingend zur Positionierung im dreidimensionalen Raum erforderlich.

Surpac bietet zahlreiche Darstellungsmöglichkeiten, angefangen von Profilen / Schnitten bis hin zur Darstellung als Blockmodell (Kapitel 8.5.1). Bei letzterer wird die gesamte Lagerstätte in Blöcke / Quader mit vorgegebenen Abmessungen (z.B. 1m x 1m x 1m) unterteilt. Jedem Block können mehrere Attribute zugewiesen werden, sei es eine Bezeichnung (z.B. Marmor) oder ein Wert (z.B. SiO₂ Gehalt 15%) einer chemischen Analyse. Über dieses Blockmodell sind geostatistische Berechnungen sowie Volumens- und Vorratskalkulationen durchführbar. Außerdem stellte sich im Zuge der Arbeit heraus, dass das Blockmodell eine praktische Art der Visualisierung unterschiedlichster geologischer Daten ist.

SurpacVision steht unter www.gemcomsoftware.com gratis zum Download bereit. Das Programm kann problemlos installiert und gestartet werden, bietet jedoch ohne gültige Lizenz nur einen begrenzten Funktionsumfang. Dateien können geöffnet und dreidimensional betrachtet werden. Um Editierfunktionen freizuschalten, benötigt man einen sogenannten Dongle (USB-Kopierschutzstecker) sowie einen gültigen Token („Seriennummer“). Hierzu muss bei der Firma Gemcom eine Lizenz erworben werden.

8.2.3.1 SurpacVision Grundlagen

Es wird an dieser Stelle verzichtet, eine detaillierte Beschreibung zur Software zu liefern. Bei Interesse kann SurpacVision wie in 8.2.3 erwähnt unter www.gemcomsoftware.com heruntergeladen werden.

Einige grundlegende Begriffe werden nachfolgend erläutert. Surpac arbeitet prinzipiell mit Punkten (Points), welche zumindest aus den 3 Raumkoordinaten (x,y,z) aufgebaut werden. Jedem Punkt können zusätzliche Informationen angehängt werden (Descriptions).

Mehrere zusammenhängende Punkte erzeugen ein Segment. Aus mehreren Segmenten können nun Flächen (DTM's) und Körper (Solids) erstellt werden (Abb. 51).

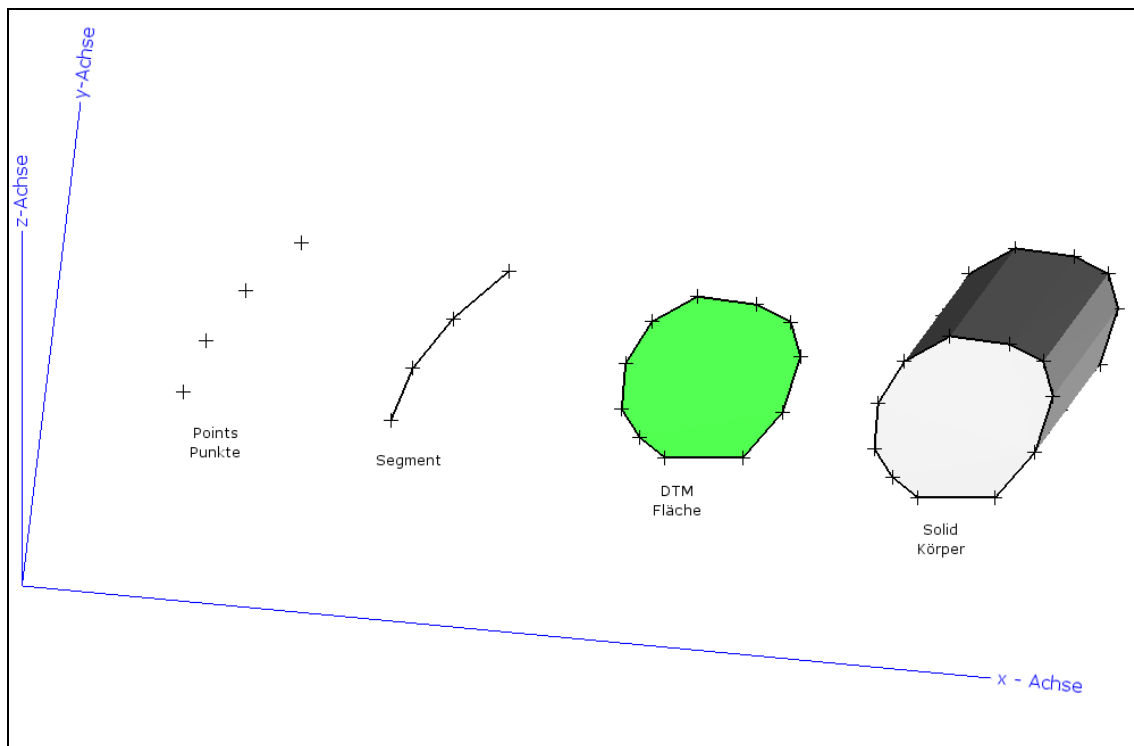


Abb. 51: Datentypen in Gemcom Surpac Vision

Zur Erstellung von Flächen und Körpern wird eine sogenannte Triangulation durchgeführt. Dabei werden, über eine logarithmische Funktion gesteuert, zwischen den gewünschten Punkten Dreiecke erzeugt, welche in Summe eine geschlossene Fläche aufspannen (Abb. 52).

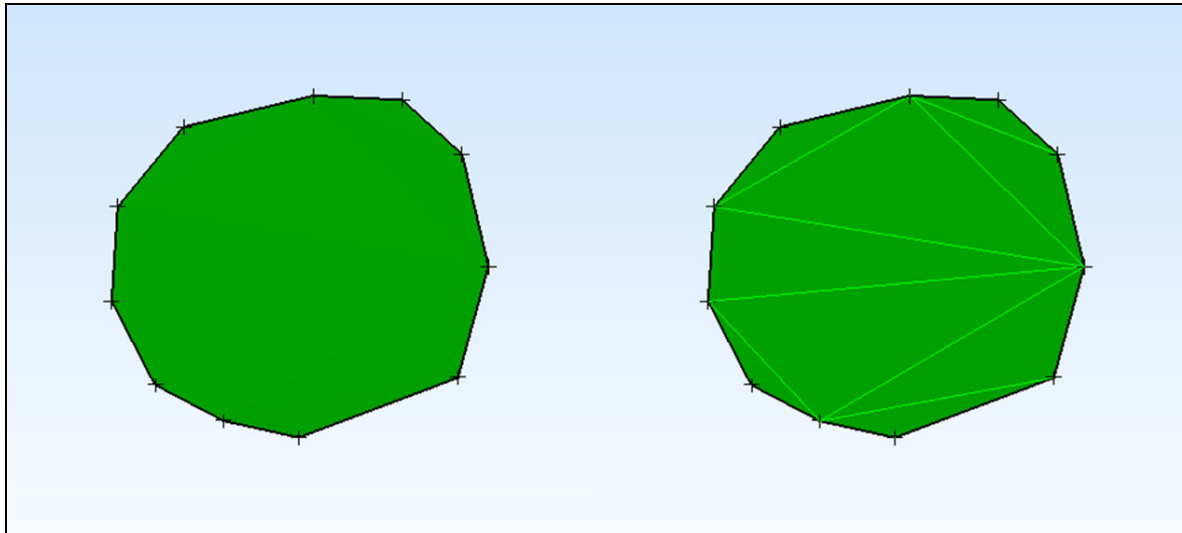


Abb. 52: Triangulation einer Fläche (links Ergebnis, rechts mit dargestellten Einzeldreiecken)

Dateien in Surpac werden als .str für Punkte und Segmente und als .dtm für Flächen und Körper abgespeichert. Ein dtm-File besitzt per Definition zwangsläufig ein gleichnamiges str-File. Diese Dateien sind unverschlüsselt und können über einen herkömmlichen Texteditor geöffnet und editiert werden (Abb. 53).

| hello_world.str in Surpac | hello_world.str in Texteditor |
|---------------------------|---|
| | <pre> Dateiname Datum Verknüpftes Styles File ----- hello_world,06-Jan-10,,SSI_STYLES:styles.ssi 0, 0.000, 0.000, 0.000, 1, -0.429, -1.211, -2.000, D1,D2,D3,D4 1, 0.171, -1.122, -2.000, 1, 0.692, -0.628, -2.000, Beschriftung 1 0, 0.000, 0.000, 0.000, 60, -0.533, -0.427, -2.000, unten 60, -0.030, -0.296, -2.000, mitte 60, 0.740, 0.127, -2.000, oben 0, 0.000, 0.000, 0.000, 0, 0.000, 0.000, 0.000, END </pre> <p>Stringnummer x-Koordinate y-Koordinate z-Koordinate Description</p> <p>Pflichtzeilen</p> |

Abb. 53: String-File Erklärung

Daten und Formatierung (d.h. farbliche Darstellung) werden in Surpac stets getrennt. Deshalb wird jedem Segment oder Punkt eine sogenannte String-Nummer zugewiesen, bei Flächen (DTMs) und Körper (Solids) ist dies eine sogenannte Object-Nummer. Die Formatierung wird in einer eigenen Datei, dem sogenannten Styles - File (Endung .ssi) gesichert. Darin wird einer bestimmten String Nummer eine Farbe sowie Strichstärke zugewiesen (Abb. 54).

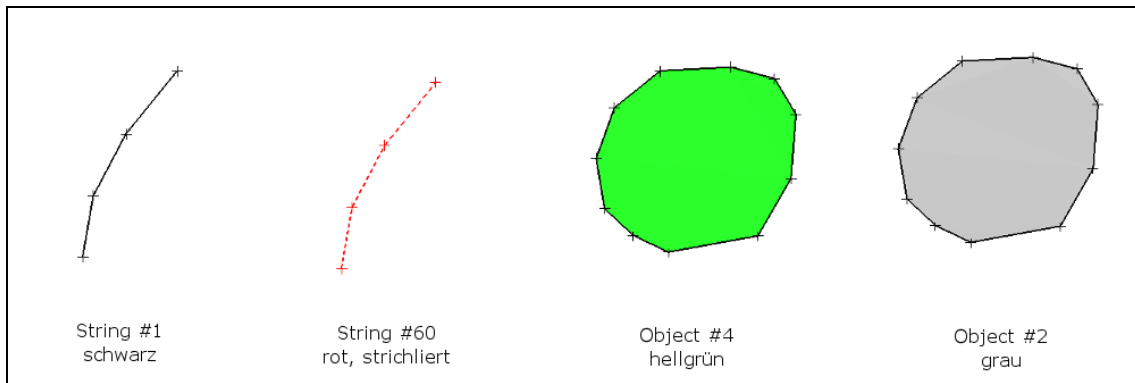


Abb. 54: Styles für unterschiedliche String- und Objektnummern

Dies bedeutet, dass dieselben Daten bei Verwendung unterschiedlicher Styles sich optisch unterscheiden. Die Farbe & Darstellung eines Strings wird ausschließlich über das Styles - File gesteuert.

8.3 Vorgehensweise

Aufgrund der unterschiedlichen Datentypen sowie Herkunft der Daten, ist eine Organisation und strukturierte Vorgehensweise unabdinglich (Abb. 55).

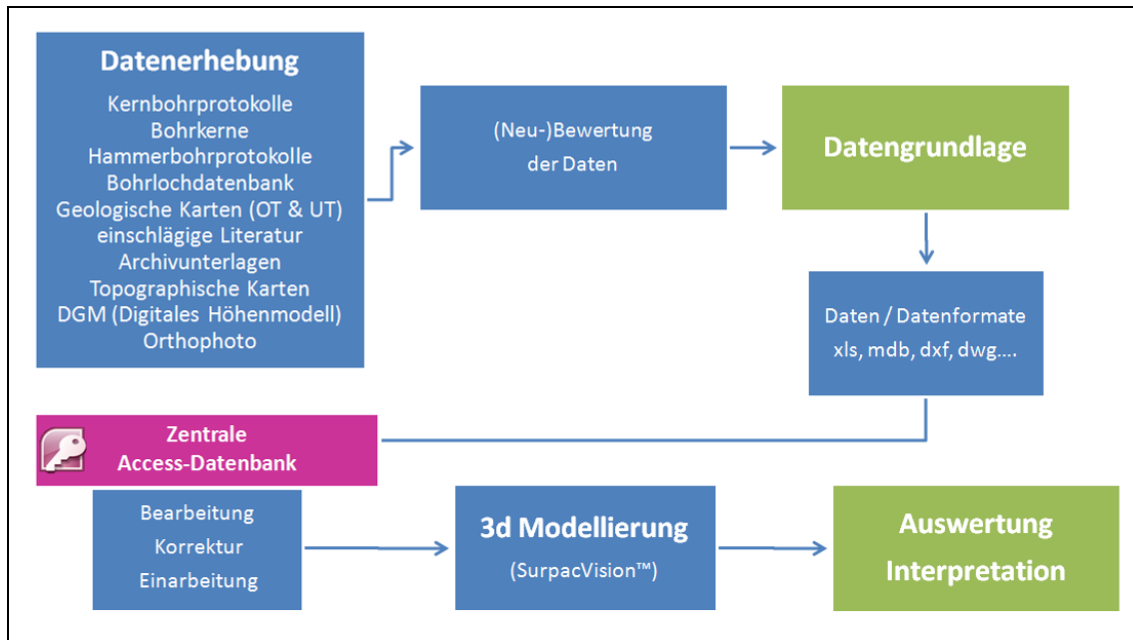


Abb. 55: Vorgehensweise zur 3d-Lagerstättenmodellierung und geologischen Datenverwaltung

Im Zuge der Datenerhebung wurden alle verfügbaren Informationen gesichtet und (neu-) bewertet. Bohrprotokolle, welche Widersprüche zu dem im Kartenwerk verzeichneten Bohrungen hervorriefen, wurden unter zu Hilfenahme der damaligen Bohristen (Hr. Malle) neu bewertet. Im Extremfall sind diese zwar in der Datenbank noch vorhanden, werden in Surpac Vision jedoch nicht dargestellt und somit für weiterführende Analysen ausgeschlossen. Dies bedeutet zum Beispiel, dass Bohrkerne zwar vollständig und gut im Lager erhalten sind, jedoch Bohransatzpunkt, Richtung und Neigung fehlen und somit aus heutiger Sicht keine verlässliche Informationsquelle darstellen.

Zur Schaffung einer nutzbaren Datengrundlage mussten alle Daten in eine homogene, digitale Form gebracht werden. Die handgezeichneten geologischen Karten wurden am Computer digitalisiert und georeferenziert (Kapitel 8.5). Dabei wurde bereits eine Simplifizierung und Standardisierung (einheitliche Farbkodierung) durchgeführt.

Die nachfolgende Speicherung und Dokumentation und sowie zukünftig auch die Eingabe solcher Daten erfolgte im neu entwickelten GEOrganizer, der als zentraler Informationspool gesehen werden kann (Kapitel 8.4.4). Die dreidimensionale Visualisierung geologischer sowie geometrischer Daten (Grubengebäude, etc.) wird von der externen Anwendung Surpac Vision übernommen.

8.4 Geologische Datenverwaltung

Für die Organisation bereits vorhandener, im Zuge der Diplomarbeit erhobener sowie zukünftiger geologischer Daten wurde ein Datenmanagementsystem namens GEOrganizer entwickelt (Kapitel 8.4.4). Dabei handelt es sich um eine Access-Datenbankanwendung, welche es ermöglicht, die vorliegende Datenfülle konfliktfrei und aktualisier- und verwaltbar zu halten. Geologische Daten können somit systematisch dokumentiert, gezielt abgefragt und, im Zusammenspiel mit Surpac Vision, dreidimensional visualisiert werden. Zur Aufnahme der Daten wurden speziell an die Datenbank sowie geologischen Verhältnisse angepasste Aufnahmeprotokolle und Richtlinien zur Standardisierung verfasst.

8.4.1 Kernbohr-Tagesprotokoll

Um alle während der Bohrung auftretenden Ereignisse und Daten dokumentieren zu können, wurde ein neues Kernbohr-Tagesprotokoll geschaffen (Anhang II), welches von den jeweiligen Bohristen auszufüllen ist. Darin werden standardmäßig alle notwendigen Attribute erfasst (Tabelle 6).

| Attribut | Beschreibung |
|---------------------|--|
| Bohrkernbezeichnung | Laut Richtlinie siehe Kapitel 8.4.3 |
| Datum | Aktuelles Datum (dd-mm-yyyy) |
| Bohristen | Namen der Bohristen |
| Zeit (von - bis) | Dauer des Arbeitsvorgangs |
| Arbeitsvorgang | z.B. Bohrmeissel wechseln |
| Teufe | Jeweilige Bohrlochteufe |
| Bohrmeter | Länge des Bohrabschnittes |
| Kernlänge | Länge des gewonnenen Kerns (zur Beurteilung des Kernverlustes) |

| | |
|-----------|---|
| Gestein | Unterscheidung von: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Erz</i> • <i>Marmor</i> • <i>Gneis-Glimmerschiefer</i> • <i>Pegmatoid / Quarzit</i> • <i>Grünschiefer</i> • <i>Lehm / Letten</i> Zusätzliche Merkmale wie: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Erzführend in %</i> • <i>Grünlich? (als Anzeichen einer Chloritisierung)</i> |
| Bemerkung | Zusätzliche Hinweise wie z.B. vermehrter Wasserzutritt |

Tabelle 6: Attribute des Kernbohr-Tagesprotokolls

Das ausgefüllte Kernbohr-Tagesprotokoll wird anschließend in die Kernbohrdatenbank des GEOrganizers eingetragen.

8.4.2 Hammerbohrprotokoll

Hammerbohrungen (auch Schmantbohrungen genannt) bieten speziell für die kurz- und mittelfristige Planung wichtige geologische Informationen, welche bis dato zwar handschriftlich erfasst aber nicht gespeichert wurden. Deshalb wurde ein spezielles Hammerbohrprotokoll erstellt (Anhang II), welches die Datenaufnahme standardisiert sowie eine Eingabe in die Hammerbohrdatenbank des GEOrganizers vereinfacht. Es werden folgende Attribute erfasst (Tabelle 7).

| Attribut | Beschreibung |
|---------------------------------|--|
| Bohrst(en) | Namen der Bohristen |
| Streckenbezeichnung | Streckenbezeichnung, wo Bohrung startet |
| Anzahl der geplanten Bohrlöcher | Anzahl der Hammerbohrungen für diesen Bereich |
| Datum | Aktuelles Datum (dd-mm-yyyy) |
| Bohrlochbezeichnung | Frei wählbar und in Skizze einzutragen; eindeutige Namensgebung später in Hammerbohrdatenbank des GEOrganizers |
| Richtung | Richtung der Bohrung (0-360°) |
| Neigung | Neigung der Bohrung (-90° bis +90°) |

| | |
|-----------|--|
| Von - bis | Bohrabschnitt |
| Gestein | Unterscheidung von: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Erz</i> • <i>Stein</i> • <i>Gemischt</i> • <i>Störung (Letten)</i> |
| Bemerkung | Zusätzliche Hinweise wie z.B. stark vergrünt |
| Skizze | Skizze des Bereichs inklusive Bohrlochverlauf symbolisch als Pfeil |

Tabelle 7: Attribute des Hammerbohrprotokolls

Erfahrungsgemäß ist eine sichere Unterscheidung von Marmor und Gneis während des händischen Hammerbohrens nicht möglich und wird daher im Hammerbohrprotokoll als „Stein“ zusammengefasst. Der Bohransatzpunkt der Hammerbohrungen wird nachträglich eingemessen oder über das Kartenwerk der Grube ermittelt.

8.4.3 Richtlinie zur Bohrloch- und Kernkistenbezeichnung

In der Vergangenheit kam es immer wieder zur doppelten Vergabe von Bohrlochbezeichnungen, weshalb diese nicht mehr eindeutig zuzuordnen waren. Außerdem traten Unklarheiten bei den Richtungsangaben einzelner Bohrungen auf, wodurch im schlimmsten Fall Bohrungen nicht mehr dreidimensional visualisierbar waren. Um dies für die Zukunft zu verhindern, wurden Richtlinien (Anhang II) zur Beschriftung und Benennung von Bohrungen (Hammer- und Kernbohrungen) sowie der Kernkisten erstellt. Diese gliedern sich wie folgt:

1. KB als Abkürzung für Kernbohrung **ODER** HB als Abkürzung für Hammerbohrung + letzten 2 Stellen des Jahres_
Abkürzung der Lokalität_
zweistellige laufende Nummer

z.B. **KB09_UL9_03** für eine Kernbohrung im Jahr 2009, Unterlauf 9, dritte Bohrung
HB09_UL6_01 für eine Hammerbohrung im Jahr 2009, Unterlauf 6, erste Bohrung

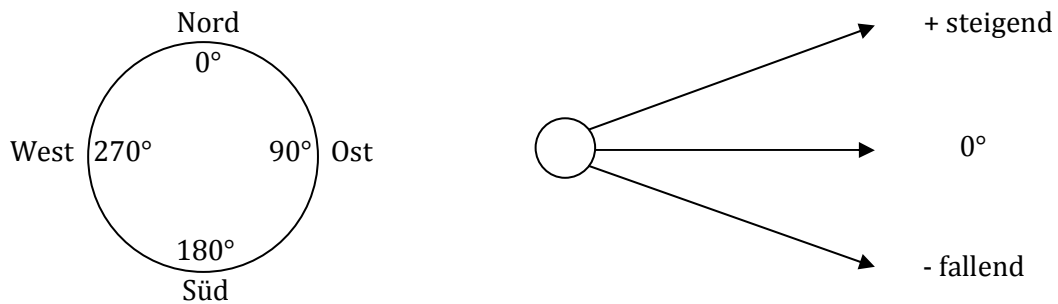
2. Für die Lokalität sind folgende Abkürzungen zu verwenden:

4. Unterlauf **ul4**
 5. Unterlauf **ul5**
 6. Unterlauf **ul6**
 7. Unterlauf **ul7**

9. Unterlauf **ul9**
 Unterfahrung **uf**
 Unterbau **ub**
 Hoffnungsstollen **host**

3. Jede Kernkiste erhält zusätzlich eine fortlaufende Kistennummer, z.B. für KB09_UL9_03 direkt auf der Kiste K1, K2, K3 usw.

4. Angaben zur Richtung & Neigung der Bohrung



Jede Kernkiste muss vor der Einlagerung mit einem wasserfesten, resistenten und nach obigen Richtlinien erstellten Etikett beschriftet werden (Abb. 56).

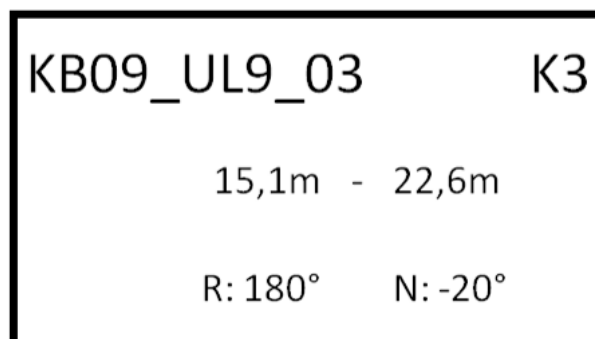


Abb. 56: Beispiel einer korrekten Kernkistenbezeichnung

8.4.4 GEOrganizer

Bei dem im Zuge der Diplomarbeit neu entwickelten Datenmanagementsystem namens GEOrganizer handelt es sich um eine Microsoft Access Datenbankanwendung, welche speziell auf die Bedürfnisse des Bergbaus Waldenstein zugeschnitten wurde und somit eine einfache Aktualisierung und Dokumentation sowie dreidimensionale Darstellung (in Verbindung mit Surpac Vision) aller geologischen Daten ermöglicht. Der GEOrganizer ist somit als zentrale Sammelstelle heterogen verteilter Daten zu sehen. Die Implementierung spezifischer Abfragemöglichkeiten gewährleistet einen vereinfachten und raschen Zugang zu bestimmten Daten.

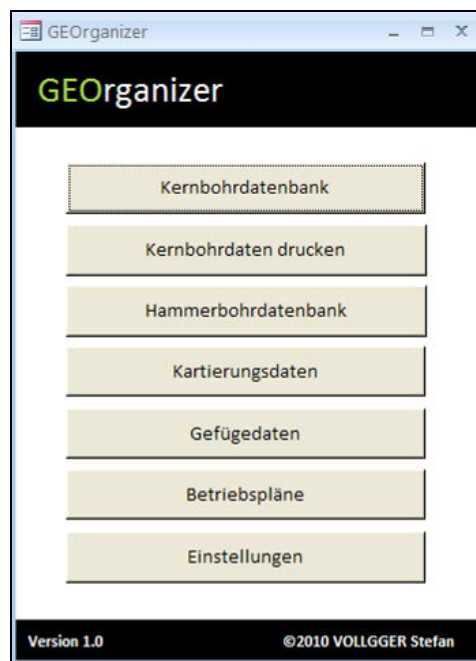


Abb. 57: Startfenster des GEOrganizers

Das Startfenster des GEOrganizers zeigt übersichtlich die verfügbaren Funktionen (Abb. 57). Vor der erstmaligen Verwendung muss der gesamte Ordner Waldenstein (Anhang IV) auf die lokale Festplatte kopiert werden und im Menüpunkt „Einstellungen“ das sogenannte Root-Verzeichnis (=Stammverzeichnis) eingetragen werden, d.h. der lokale Pfad zum Ordner Waldenstein (Abb. 58). Dies ist notwendig, um eine korrekte Verbindung zu den gewünschten Dateien (z.B. Fotos der Kernkisten) herzustellen.

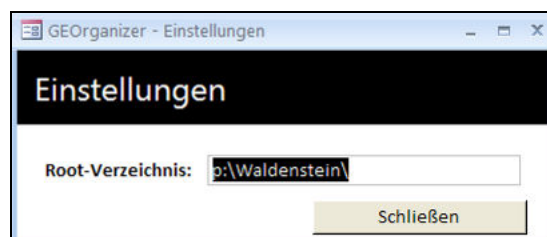


Abb. 58: Einstellungen des GEOrganizers

Die Verzeichnisstruktur innerhalb des Ordners Waldenstein darf nicht verändert werden. Fotos sowie Berichte, kurz gesagt externe Dateien, welche mit einzelnen Datensätzen des GEOrganizers verknüpft werden, müssen in ein eigenes Verzeichnis gespeichert werden. Die Dateien werden nicht direkt in der Datenbank abgelegt, sondern lediglich verlinkt, um den Speicherplatzbedarf der Datenbank selbst möglichst klein zu halten. Externe Dateien sind unter Beachtung folgender Richtlinien abzuspeichern:

1. Neue Bohrkernfotos sind in einem Unterordner im Ordner
Waldenstein\doku\fotos
abzulegen. Der Unterordner sollte wie folgt benannt werden:

Monat-Jahr_bezeichnung: z.B. 08-2008_bohrkerne

2. Kartierungsdaten sind in einem Unterordner im Ordner
Waldenstein\doku\Kartierungsdaten
abzulegen. Der Unterordner sollte wie folgt benannt werden:

Jahr – Nachnamen der Gruppenmitglieder: z.B. 2009 – Misch, Pluch

3. Betriebspläne sind direkt im Ordner
Waldenstein\doku\betriebsplan
abzulegen.

4. Auswertungen und Analysen von entnommenen Proben sind direkt im Ordner
Waldenstein\doku\probendaten
abzulegen.

Diese Vorgaben sind einzuhalten und gewährleisten eine nachvollziehbare und vollständige Dokumentation zukünftig erhobener Daten.

8.4.4.1 Kernbohrdatenbank

In der Kernbohrdatenbank des GEOrganizers (Abb. 59) werden alle verfügbaren Informationen der abgeteufte Kernbohrungen gespeichert. Diese können im Weiteren dreidimensional in Surpac Vision dargestellt und analysiert werden.

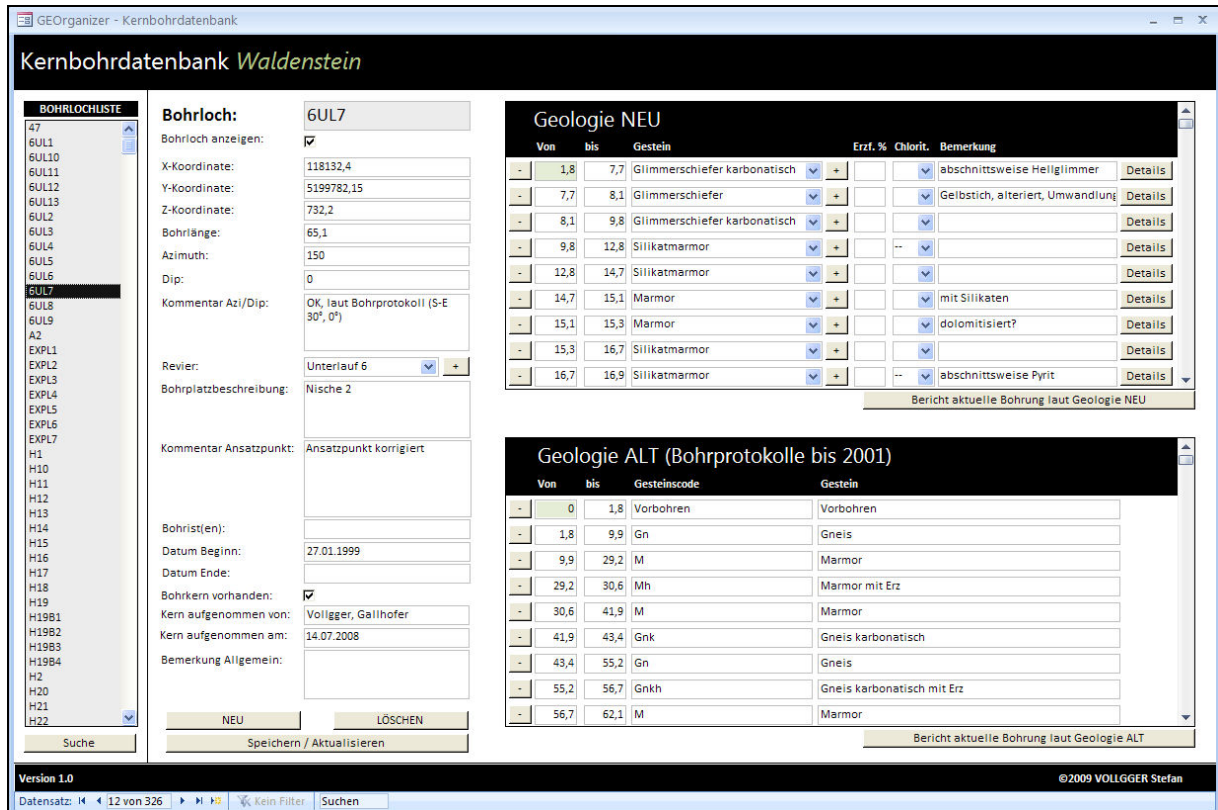


Abb. 59: Kernbohrdatenbank des GEOrganizers

Der linke Bereich der Kernbohrdatenbank enthält eine Auflistung aller Bohrlöcher. Rechts davon befinden sich die geometrischen Angaben zur Bohrung und dessen Ansatzpunkt, Informationen zum zeitlichen Verlauf der Bohrung sowie der Bohrkernaufnahme sowie Informationen zum geologischen Inhalt der ausgewählten Bohrung. Jeder Bohrung werden folgende Attribute zugewiesen:

| | | |
|---|--|--|
| Bohrloch: | 6UL7 | Bohrlochbezeichnung |
| Bohrloch anzeigen: | <input checked="" type="checkbox"/> | Soll Bohrloch in Surpac angezeigt werden? |
| X-Koordinate: | 118053,6 | Koordinaten, Gauß Krüger M31 |
| Y-Koordinate: | 5199763,5 | |
| Z-Koordinate: | 736,3 | |
| Bohrlänge: | 65,1 | Gesamtbohrlängelänge |
| Azimuth: | 150 | Bohrrichtung (0° bis 360°) |
| Dip: | 0 | Bohrneigung in ° (+ steigend, - fallend) |
| Kommentar Azi/Dip: | OK, laut Bohrprotokoll (S-E 30°, 0°) | Kommentar zu Azimut (Bohrrichtung) und Dip (Neigung) der Bohrung |
| Revier: | Unterlauf 6 <input type="button" value="v"/> <input type="button" value="+"/> | + zum Hinzufügen eines neuen Reviers |
| Bohrplatzbeschreibung: | Nische 2 | Bohrplatzbeschreibung |
| Kommentar Ansatzpunkt: | Ansatzpunkt korrigiert, Bohrnische 2 laut Betriebsplan 1999 (Karte 6. Unterlauf) | Kommentar zum Ansatzpunkt |
| Bohrst(en): | | Name der/des Bohristen |
| Datum Beginn: | 27.01.1999 | Datum Beginn der Bohrung |
| Datum Ende: | | Datum Ende der Bohrung |
| Bohrkern vorhanden: | <input checked="" type="checkbox"/> | Ist Bohrkern im Lager vorhanden? |
| Kern aufgenommen von: | Vollgger, Gallhofer | Bohrkern aufgenommen von |
| Kern aufgenommen am: | Juli - August 2008 | Bohrkernaufnahmedatum |
| Bemerkung Allgemein: | | Allgemeine Bemerkung |
| <input type="button" value="NEU"/> <input type="button" value="LÖSCHEN"/> | | |
| <input type="button" value="Speichern / Aktualisieren"/> | | |

Abb. 60: Attributliste der Bohrkerne in der Bohrkerndatenbank des GEOrganizers

Jede Bohrung wird in Abschnitte unterteilt (von – bis) und jedem Abschnitt werden das Gestein, Prozentsatz an Erz, Chloritisierungsgrad, individuelle Bemerkung und Details zugewiesen (Abb. 61).

| Geologie NEU | | | | | | |
|--------------|------|------|------------------------------|---------|----------|----------------------------------|
| | Von | bis | Gestein | Erzf. % | Chlorit. | Bemerkung |
| - | 1,8 | 7,7 | Glimmerschiefer karbonatisch | + | | abschnittsweise Hellglimmer |
| - | 7,7 | 8,1 | Glimmerschiefer | + | | Gelbstich, alteriert, Umwandlung |
| - | 8,1 | 9,8 | Glimmerschiefer karbonatisch | + | | |
| - | 9,8 | 12,8 | Silikatmarmor | + | -- | |
| - | 12,8 | 14,7 | Silikatmarmor | + | | |
| - | 14,7 | 15,1 | Marmor | + | | mit Silikaten |
| - | 15,1 | 15,3 | Marmor | + | | dolomitisiert? |
| - | 15,3 | 16,7 | Silikatmarmor | + | | |
| - | 16,7 | 16,9 | Silikatmarmor | + | -- | abschnittsweise Pyrit |

Bericht aktuelle Bohrung laut Geologie NEU

Abb. 61: Eingabemaske zur geologischen Beschreibung der Bohrkernabschnitte

Standardmäßig sind 15 verschiedene, in Waldenstein auftretende Lithologien in der Auswahl Gestein vorhanden. Diese sind:

- *Erz*
- *Marmor*
- *Marmor – Gneis*
- *Gneis*
- *Pegmatit*
- *Grünschiefer*
- *Lehm-Letten*
- *Quarzit*
- *Glimmerschiefer*
- *Gneis – Glimmerschiefer*
- *Amphibolit*
- *Unbekannt*
- *Silikatmarmor*
- *Glimmerschiefer karbonatisch*
- *Störung*

Weiters können jedem einzelnen Abschnitt diverse Detailinformationen angefügt werden (Abb. 62). Es können Fotos der Bohrkernkisten angegeben und per Mausklick direkt geöffnet und betrachtet werden.

Geologische Details





Details Geologie für 6UL7

von 1,8
bis 7,7

Kisten Nr.

Pyrit
 Heller Glimmer (Muskovit)
 Dunkler Glimmer (Biotit)
 Hellbrauner Glimmer (Phlogopit)
 Quarzadern > 3mm

Kalzitadern >3mm
 Granat / Granatrelikte
 zerrütteter Bereich
 Kernverlust (KV)
 Bohrkern durcheinander

Bild #1: 
 Bild #2: 
 Bild #3: 
 Bild #4: 


Probenbezeichnung:
 Entnommen von:
 Entnommen am:
 Probandaten: 

Abb. 62: Eingabemaske für Details einzelner Bohrkernabschnitte

Falls zu Bohrkernabschnitten auch alte Bohrprotokolle bzw. Bohrkernaufzeichnungen vorliegen, so werden diese im Bereich „Geologie ALT“ dargestellt (Abb. 63). Dies ermöglicht einen schnellen Vergleich mit der neu erhobenen Geologie sowie Zugriff auf zusätzliche Bohrinformationen (z.B. Wasserzutritte).

| Geologie ALT (Bohrprotokolle bis 2001) | | | | |
|--|------|------|--------------|----------------------------|
| | Von | bis | Gesteinscode | Gestein |
| - | 0 | 1,8 | Vorbohren | Vorbohren |
| - | 1,8 | 9,9 | Gn | Gneis |
| - | 9,9 | 29,2 | M | Marmor |
| - | 29,2 | 30,6 | Mh | Marmor mit Erz |
| - | 30,6 | 41,9 | M | Marmor |
| - | 41,9 | 43,4 | Gnk | Gneis karbonatisch |
| - | 43,4 | 55,2 | Gn | Gneis |
| - | 55,2 | 56,7 | Gnkh | Gneis karbonatisch mit Erz |
| - | 56,7 | 62,1 | M | Marmor |

Bericht aktuelle Bohrung laut Geologie ALT

Abb. 63: Anzeige der geologischen Daten aus den alten Bohrprotokollen

Die Gesamtlänge der in der Datenbank gespeicherten Kernbohrungen beträgt 18.077,95m, wobei davon 14.487,35m eindeutig zugeordnet und somit dreidimensional dargestellt werden können (Stand Februar 2010). Der Restbetrag von 3.590,6m sowie nicht dokumentierter Bohrungen können aufgrund von fehlenden Informationen wie z.B. Bohransatzpunkt, Richtung, Neigung etc. nicht visualisiert werden.

Nach eigenen Schätzungen zufolge dürften sich ca. 50% bis dato für den Bergbau Waldenstein abgeteuften Bohrungen in der Datenbank befinden. Laut mündlicher Überlieferung (Hr. Malle) wurde in der Vergangenheit ständig parallel zum Bergbaubetrieb gebohrt (~2000m/Jahr), oftmals sogar in mehreren Schichten. Dies bedeutet, dass bis dato ca. 40.000m abgeteuft worden sein müssten. Bohrkerne, welche keine Erzindikationen aufwiesen wurden in der Vergangenheit aufgrund von Platzmangel „entsorgt“, ehe sie dokumentiert wurden und fehlen somit in der Kernbohrdatenbank. Dies ist aus heutiger Sicht ein erheblicher Verlust an Information. Bohrkerne sind als ein „geologisches Dokument“ zu betrachten und daher ordentlich zu lagern und zu dokumentieren.

Für die dreidimensionale Visualisierung der gespeicherten Kernbohrdaten wird eine Verbindung zwischen dem GEOrganizer und Surpac Vision hergestellt. Dies bedeutet, dass Surpac direkt auf die die Kernbohrdatenbank des GEOrganizers zugreift, diese visualisiert und Änderungen in der Datenbank sofort übernimmt. Die farbliche Darstellung der Bohrlochgeologie wurde standardisiert (siehe Anhang III). Innerhalb Surpac Vision können nun die Kernbohrungen für weiterführende Analysen und Auswertungen verwendet werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, spezifische Abfragen (z.B. Revier = Unterlauf 9) mittels sogenannten „Graphical Constraints“ durchzuführen und somit nur ausgewählte Daten darzustellen. Eine detaillierte Beschreibung der dreidimensionalen Visualisierungsmöglichkeiten von geologischen Daten in Surpac folgt in Kapitel 8.5.1.

8.4.4.2 Kernbohrdaten drucken

Um die in der Kernbohrdatenbank des GEOrganizers vorhandenen Informationen auf Papier zu bringen, wurde eine Berichts- bzw. Druckfunktion integriert (Abb. 64).

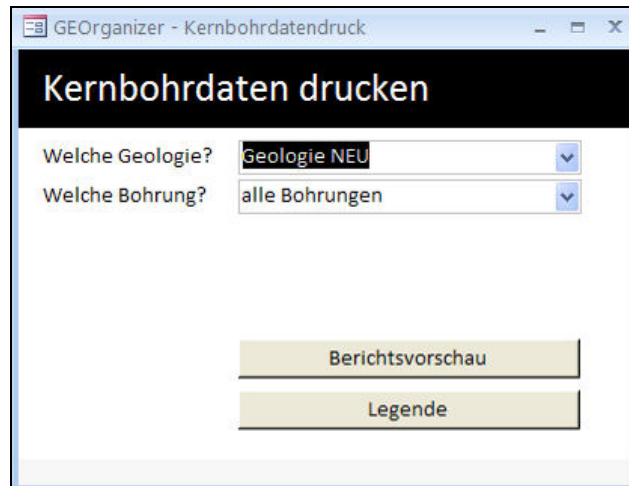


Abb. 64: Druckfunktion von Kernbohrdaten des GEOrganizers

Es können je nach Auswahl die gespeicherten geometrischen und geologischen Informationen einer bestimmten oder aller Bohrungen in einer Vorschau dargestellt und auf Wunsch ausgedruckt werden (Abb. 65).

| Kernbohrung 6UL7 | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|------------|-------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------|----|---------|---|
| 6UL7 | | Unterlauf 6 | | Datum Beginn: 27.01.1999 | | Bohrkern aufgenommen von: Volgger, Galhofer | | | | | | | | |
| x: | 118132,4 | Azimuth: | 150° | Dip: | 0° | Datum Ende: | Bohrkern aufgenommen am: 14.07.2008 | Kommentar: Ansatzpunkt korrigiert | | | | | | |
| y: | 5199782,15 | Bohrlisten: | | Bemerkung: | | | | | | | | | | |
| z: | 732,2m | Bohrplatz: | Nische 2 | | | | | | | | | | | |
| Endteufe: | 65,1m | | | | | | | | | | | | | |
| von | bis | Lithologie | Chlorit. | Erz % | Py | Ms | Bt | Pl | Gr | Qtz-Adern | Kal-Adern | KV | Ksten # | Bemerkung |
| 1,8 | - | 7,7 | Glimmerschiefer karbonatisch | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 1 | abschnittsweise Helgimner |
| 7,7 | - | 8,1 | Glimmerschiefer | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 1 | Gelbstich, alteriert, Umwandlungsprodukt |
| 8,1 | - | 9,8 | Glimmerschiefer karbonatisch | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 1 | |
| 9,8 | - | 12,8 | Silikatmarmor | -- | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 1 | |
| 12,8 | - | 14,7 | Silikatmarmor | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 1 | |
| 14,7 | - | 15,1 | Marmor | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 1 | mit Silikaten |
| 15,1 | - | 15,3 | Marmor | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 2 | dolomitisiert? |
| 15,3 | - | 16,7 | Silikatmarmor | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 2 | |
| 16,7 | - | 16,9 | Silikatmarmor | -- | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 2 | abschnittsweise Pyrit |
| 16,9 | - | 23,2 | Marmor | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 2 | mit Silikaten |
| 23,2 | - | 26,3 | Marmor | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 2 | |
| 26,3 | - | 26,95 | Marmor | -- | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 3 | mit Silikaten |
| 26,95 | - | 27,25 | Marmor | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 3 | alteriert, Braunstich |
| 27,25 | - | 30,4 | Silikatmarmor | -- | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 3 | dolomitisiert? Abschnittsweise Braunstich |
| 30,4 | - | 30,5 | Silikatmarmor | -- | 5 | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 3 | |
| 30,5 | - | 32,8 | Silikatmarmor | -- | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 3 | dolomitisiert? Abschnittsweise Braunstich |
| 32,8 | - | 32,9 | Glimmerschiefer karbonatisch | | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 3 | dunkler Eindruck |
| 32,9 | - | 33,7 | Silikatmarmor | -- | | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | | | | 3 | silifiziert |

Abb. 65: Vorschau von Kernbohrdaten in der Druckfunktion des GEOrganizers

Damit können die Daten auch auf Papier gespeichert und ohne direkte Verwendung der Datenbank betrachtet werden.

8.4.4.3 Hammerbohrdatenbank

Bis vor Kurzem wurden die regelmäßig abgeteufte Hammerbohrungen nicht bzw. unzureichend dokumentiert. Dabei liefern diese einerseits für die kurzfristige Planung sehr nützliche Daten, andererseits tragen sie zur genaueren Modellierung der Geologie bei. Da Hammerbohrungen immerhin eine maximale Teufe von 15m erreichen können, haben diese bei den in der Grube Waldenstein sehr schnell wechselnden geologischen Gegebenheiten eine wichtige Bedeutung.

Ähnlich der Kernbohrdatenbank wurde für die Hammerbohrungen eine eigene Hammerbohrdatenbank angelegt (Abb. 66), welche im GEOrganizer aufgerufen werden kann.



Abb. 66: Grafische Benutzeroberfläche der Hammerbohrdatenbank

Wie in der Kernbohrdatenbank werden alle vorhandenen Hammerbohrungen in einer aufsteigend sortierten Liste im linken Bereich des Fensters angezeigt. Es wurde auch eine Suchfunktion integriert, um gezielt gewünschte Bohrungen zu finden. Im rechten Bereich befinden sich die geometrischen Angaben zum Ansatzpunkt der Hammerbohrung sowie Informationen zum geologischen Inhalt der einzelnen Bohrabschnitte. Standardmäßig kann von 4 verschiedenen Gesteinstypen, welche bei einer Hammerbohrung sicher unterscheidbar sind, ausgewählt werden. Diese sind:

- Stein
- Erz
- Gemischt
- Störung

Die Erfahrung hat gezeigt, dass eine sichere Unterscheidung von Marmor und Gneis bei Hammerbohrungen nicht möglich ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der eigentlich im Vergleich zum Marmor härtere Gneis durch die auftretenden Alterationserscheinungen ähnliche Festigkeiten wie der Marmor zeigt und sich der Bohrfortschritt deshalb kaum unterscheidet. Außerdem findet während des Bohrvorganges eine Durchmischung des Bohrkleines statt, was eine optische Unterscheidung zwischen Marmor und Gneis erschwert. Aus diesen Gründen wurde darauf verzichtet.

Für die dreidimensionale Darstellung der Hammerbohrdaten wird eine Verbindung zwischen der Hammerbohrdatenbank und Surpac Vision hergestellt. Genauere Details zur Visualisierung geologischer Daten in 3d mittels Surpac Vision folgen in Kapitel 8.5.1.

Die Hammerbohrdatenbank besitzt auch eine Berichts- bzw. Druckfunktion, mit welcher ausgewählte oder sämtliche Hammerbohrungen als Liste mit allen gespeicherten Informationen in einer Vorschau betrachtet und auf Wunsch gedruckt werden können (Abb. 67).

| Auflistung Hammerbohrungen | | | | |
|----------------------------|------------|-------------------------|-----------|---|
| HB09_02_01 | | Revier: BLS V | | |
| X: | 118261 | Max. Teufe | 7,2 | Lage Ansatzpunkt: Abbau, mitig |
| Y: | 5199770 | Azimuth | 180 | Datum: Februar 09 |
| Z: | 704,5 | Dip: | 0 | |
| von | bis | Gestein | Bemerkung | |
| 0 | 7,2 | Gemischt | | |
| HB09_02_02 | | Revier: BLS V | | |
| X: | 118260 | Max. Teufe | 10,8 | Lage Ansatzpunkt: Abbau, mitig |
| Y: | 5199774 | Azimuth | 320 | Datum: Februar 09 |
| Z: | 704,5 | Dip: | 5 | |
| von | bis | Gestein | Bemerkung | |
| 0 | 10,8 | Stein | | |
| HB09_02_03 | | Revier: Unterlauf 9 Ost | | |
| X: | 118333,85 | Max. Teufe | 10 | Lage Ansatzpunkt: 2,3m östlich von 07A20 |
| Y: | 5199825,95 | Azimuth | 180 | Datum: 11.02.2009 |
| Z: | 705 | Dip: | 0 | |
| von | bis | Gestein | Bemerkung | |
| 0 | 1 | Erz | | |
| 1 | 10 | Stein | | |
| HB09_02_04 | | Revier: Unterlauf 9 Ost | | |
| X: | 118330,55 | Max. Teufe | 9,7 | Lage Ansatzpunkt: 1m westlich von 07A20 |
| Y: | 5199824 | Azimuth | 180 | Datum: 11.02.2009 |
| Z: | 705 | Dip: | 0 | |
| von | bis | Gestein | Bemerkung | |
| 0 | 1,2 | Stein | | |
| 1,2 | 6,7 | Erz | | |
| 6,7 | 9,7 | Stein | | |
| HB09_02_05 | | Revier: Unterlauf 9 Ost | | |
| X: | 118326,35 | Max. Teufe | 8 | Lage Ansatzpunkt: 5,2m westlich von 07A20 |
| Y: | 5199822,9 | Azimuth | 180 | Datum: 11.02.2009 |
| Z: | 706 | Dip: | 0 | |
| von | bis | Gestein | Bemerkung | |
| 0 | 4 | Stein | | |
| 4 | 5,5 | Erz | | |

Mittwoch, 17. Februar 2010

SEITE 1 VON 6

Abb. 67: Druck- bzw. Berichtsfunktion der Hammerbohrdatenbank des GEOrganizers

8.4.4.4 Verwaltung der Kartierungsdaten

Bis dato war es meist sehr schwierig und zeitraubend, Informationen über geologische Kartierungsarbeiten betreffend der Lagerstätte Waldenstein zu ermitteln. Dies war meist mit aufwändiger Durchforstung des Archivs sowie Durchsichtung der Betriebspläne der letzten Jahrzehnte verbunden. Um dies zu Vereinfachen, wurde eine zentrale Auflistung aller geologischen Kartierungsdaten zur Lagerstätte Waldenstein im Punkt „Kartierungsdaten“ in den GEOrganizer integriert (Abb. 68). Damit ist es nun möglich, das Vorhandensein von geologischen Karten für unterschiedliche Bereiche (=Reviere) der Lagerstätte zu überprüfen, zu aktualisieren und diese auf Wunsch aufzurufen.

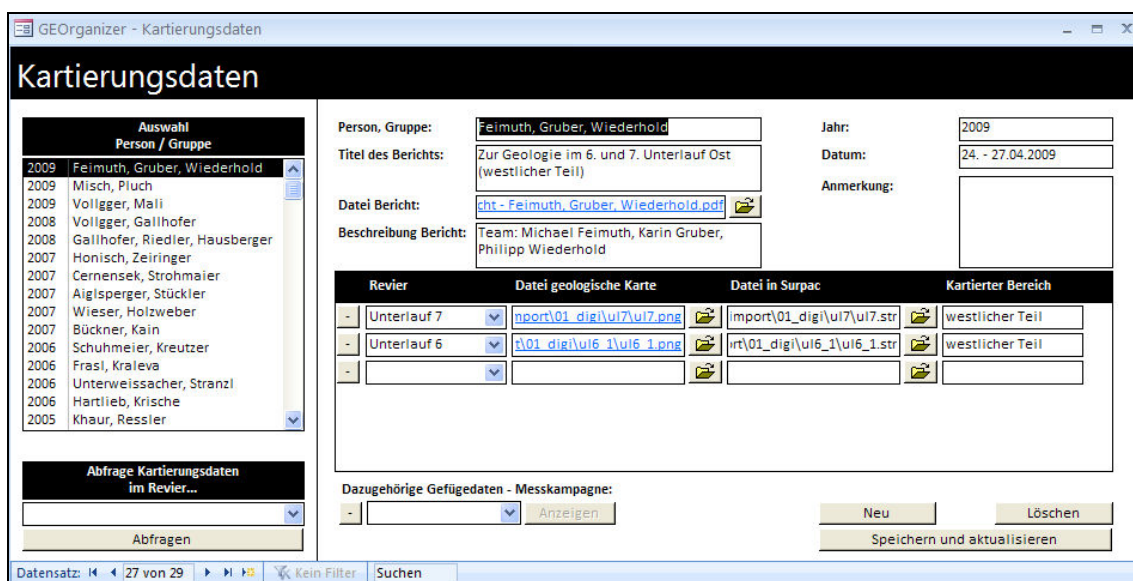


Abb. 68: Kartierungsdatenverwaltung des GEOrganizers

Die verfügbaren Kartierungsdaten werden einer Person respektive Gruppe zugewiesen, welche im linken Bereich aus einer chronologisch sortierten Liste ausgewählt werden kann. Der Person/Gruppe kann nun ein Bericht (falls digital vorhanden) sowie eine kurze Beschreibung angefügt werden. Es wird im nächsten Schritt festgelegt, in welchem Revier (oder Revieren) der Lagerstätte kartiert wurde und wo die Datei der geologischen Karte abgespeichert wurde. Falls diese bereits in Surpac Vision digitalisiert wurde, so wird auch die entsprechende Surpac Datei angegeben. Weiters können dazugehörige Gefügedaten einer Messkampagne, welche in der Gefügedatenverwaltung des GEOrganizers (Kapitel 8.4.4.5) abgespeichert sind, mit den Kartierungsdaten verknüpft und schnell zu diesen gewechselt werden. Um eine Auflistung von geologischen Informationen für ein bestimmtes Revier zu erhalten, kann eine entsprechende Abfrage durchgeführt werden. Das Ergebnis ist eine chronologisch geordnete Liste aller Kartierungsdaten für das gewünschte Revier sowie die Möglichkeit, digital verfügbare geologische Karten und Berichte direkt über einen blau gekennzeichneten Hyperlink zu öffnen (Abb. 69). Zusätzlich kann über die Schaltfläche „Berichtsvorschau“ die Auflistung der vorhandenen Kartierungsdaten ausgedruckt werden (Abb. 69).

| Jahr | Gruppe / Person | Kartierter Bereich | Datei Bericht | Datei geologische Karte |
|------|---------------------------------|--|--|--|
| 1988 | Erben, Heine, Schulz | Grundstrecke Unterbau (West-Ost) | | reckelub_grundstr1.png |
| 1990 | Schüttrumpf, Gerken | Ost bei Wendel weiter nach Osten | | jg1lub_ostlub_ost1.png |
| 1990 | Greinert, Holländer, Saueremann | Westlichster Bereich der Grundstrecke (bereits versetzt) | | ub_westlub_west1.png |
| 1998 | Wreden, Lonsky | Strecke vom BLX-2 Richtung Nordernzu BL IV | | uedlub_b14_sued1.PNG |
| 2002 | Goerke, Korn | von BLX über Blindschacht 3 bis östlich von Blindschacht 4 | | j3_ostlub_b13_ost1.png |
| 2007 | Cernensek, Strohmaier | Blindschacht IV Richtung Osten | | l4_ostlub_b14_ost1.PNG |
| 2007 | Wieser, Holzweber | Strecke Richtung Norden bzw. Nordwesten | | lub_nordlub_nord2.png |
| 2007 | Aiglsperger, Stückler | Blindschacht IV Richtung Süden | | uedlub_b14_sued2.png |
| 2007 | Cernensek, Strohmaier | Nord | | lub_nordlub_nord2.png |
| 2007 | Cernensek, Strohmaier | Nord | | ub_nordlub_nord1.png |
| 2007 | Honisch, Zeiringer | SH 676 + Wendel | | endelub_wende1.png |
| 2007 | Wieser, Holzweber | Strecke Richtung Norden bzw. Nordwesten | | ub_nordlub_nord1.PNG |
| 2009 | Vollgger, Mali | Schacht 3, 3. Bühne | | schacht3_buehne3.pdf |
| 2009 | Misch, Pluch | Grundstrecke Richtung West & Unterbau Strecke Richtung Süd | bericht - Misch, Pluch.pdf | rcke2lub_grundstr2.png |

Abb. 69: Abfrage- & Druckfunktion von Kartierungsdaten (GEOrganizer)

8.4.4.5 Verwaltung der Gefügedaten

Ein in den Geowissenschaften auftretendes Problem ist die Speicherung und Bereitstellung von Gefügedaten sowie die Möglichkeit, bestimmte Daten extrahieren sowie aktualisieren zu können.

Gefügedaten sind geometrische Daten von Störungen, Linearen sowie Schichtungs- und Schieferungsflächen der unterschiedlichen Lithologien. Zwar sind diese auf geologischen Karten eingezeichnet und/oder als Tabellen meist mit Laufmeterangaben angefügt, eine schnelle Extraktion dieser Daten für weiterführende Analysen ist bis dato aber sehr zeitaufwändig. Dies war der Grund, die Funktion Gefügedaten in den GEOrganizer zu integrieren (Abb. 70), da eine Auswertung von Gefügedaten nicht nur Rückschlüsse auf die Genese des Gesteins sowie der beteiligten (tektonischen) Prozesse erlaubt, sondern im Bergbau und in den interdisziplinär betriebenen Geowissenschaften eine wichtige Grundlage bei der Planung und Durchführung von Maßnahmen darstellt.

Die Angabe der Koordinaten (x, y, z) ist zwingend erforderlich, denn nur die genaue Position des gemessenen Gefügemerkmals gewährleistet eine aussagekräftige und richtige Auswertung sowie Analyse der Messwerte.

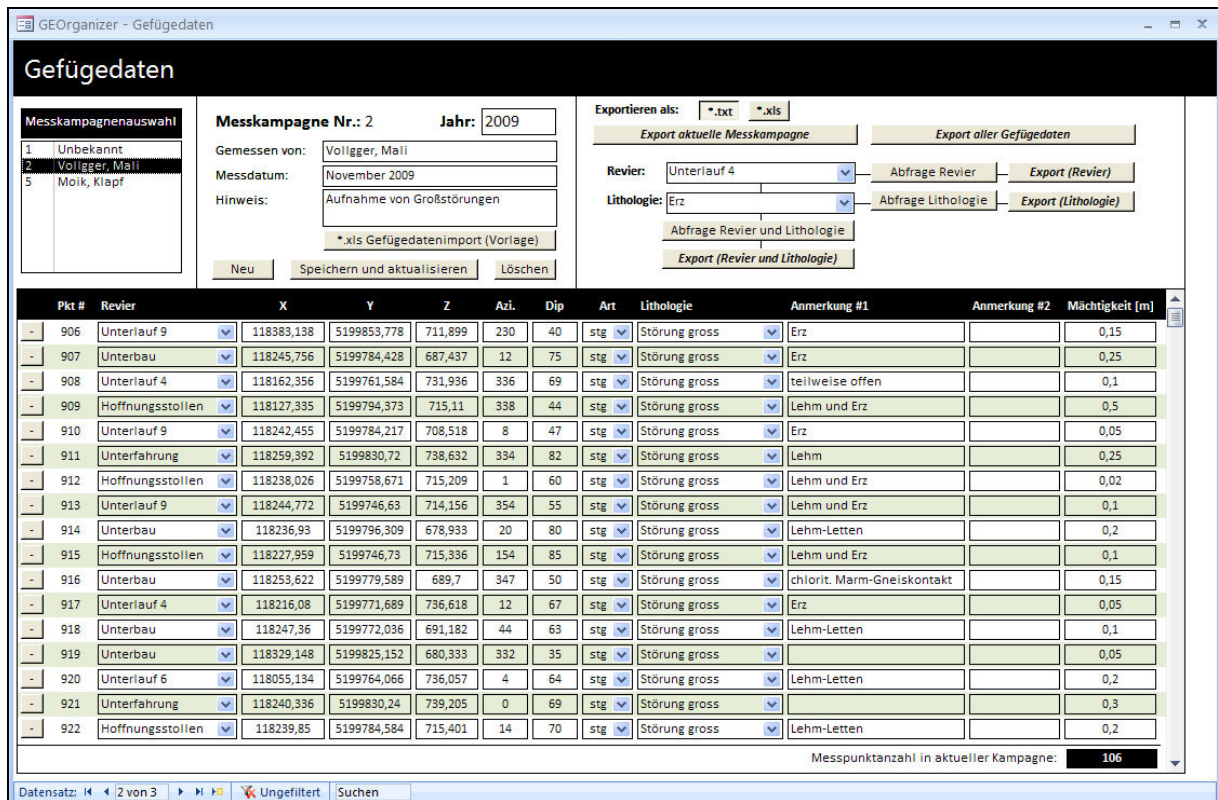


Abb. 70: Gefügedatenverwaltung des GEOrganizers

Die Gefügedatenverwaltung des GEOrganizers ist in Messkampagnen untergliedert. Jeder Messkampagne wird automatisch eine fortlaufende Nummer zugeordnet, um diese eindeutig in der Datenbank identifizieren zu können. Vervollständigt wird eine Messkampagne durch Angabe des Jahres sowie der Personen, welche die Messungen durchgeführt haben. Jedem Messpunkt können bestimmte Attribute zugewiesen werden (Tabelle 8).

| Attribut | Beschreibung |
|----------|---|
| Pkt # | Punktnummer, wird automatisch in der Datenbank vergeben |
| Revier | Revier / Bereich der Lagerstätte, wo Messung durchgeführt wurde |
| X, Y, Z | Koordinaten nach GK M31 |
| Azi. | Azimet, d.h. Einfallrichtung des Gefüges (0 – 360°) |
| Dip | Neigung des Gefüges (0 – 90°) |

| | |
|-----------------|--|
| Art | Art/Typ des Gefüges fa Faltenachse kl Kluffläche lin Linear sf Schieferungsfläche ss sedimentäre Schichtfläche stg Störung |
| Lithologie | In welcher Lithologie wurde Gefüge gemessen z.B. sf des Marmors |
| Anmerkung #1 | Allgemeine Bemerkung 1 |
| Anmerkung #2 | Allgemeine Bemerkung 2 oder falls vorhanden Originalpunktnummer laut dazugehöriger geologischer Karte |
| Mächtigkeit [m] | Angabe der Mächtigkeit von Störungen |

Tabelle 8: Messpunktattribute in der Gefügedatenbank des GEOrganizers

Um eine einfache Weiterverarbeitung der gespeicherten Daten zu gewährleisten, wurde eine umfangreiche Exportfunktion integriert. Generell können Messdaten als Komma getrennte Textdatei (*.txt) oder Exceldatei (*.xls) ausgegeben werden. Es bestehen diverse Abfragemöglichkeiten, die es erlauben...

- alle Gefügedaten der aktuell ausgewählten Messkampagne ODER
- alle in der Datenbank gespeicherten Gefügedaten ODER
- Gefügedaten eines bestimmten Reviers ODER
- Gefügedaten einer bestimmten Lithologie ODER
- Gefügedaten eines bestimmten Reviers mit bestimmter Lithologie

...im gewünschten Format zu exportieren. Der erfolgreiche Export wird mit einer Meldung bestätigt (Abb. 71).

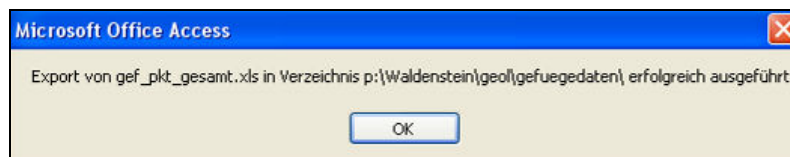


Abb. 71: Bestätigung des erfolgreich durchgeführten Gefügedatenexports

Die als Textfiles exportierten Gefügedaten können anschließend mit Hilfe von Surpac Vision dreidimensional visualisiert werden (Kapitel 8.5.1.3). Die exportierten Excel-Files können direkt zur gefügekundlichen Auswertung (z.B. mit der Software Tectonics FP) oder zur statistischen Auswertung (z.B. mit MiniTab) weiterverwendet werden.

Bei zukünftigen geologischen Kartierungsarbeiten sind neue Messdaten nach normierten Richtlinien digital in eine Excel Datei einzugeben. Aus diesem Grund wurde hierfür eine angepasste Vorlage erstellt (Anhang IV). Um einen reibungslosen, schnellen und fehlerfreien Import von neu erhobenen Messwerten in die Gefügedatenbank des GEOrganizers zu gewährleisten, wurde dieser mit einer angepassten Importfunktion ausgestattet. Diese kann über die Schaltfläche „*.xls Gefügedatenimport (Vorlage)“ aufgerufen werden (Abb. 72). Als Vorlage muss die vorhin genannte Datei vorlage_gef_pkt.xls (Anhang IV) verwendet werden.

The screenshot shows the 'Gefügedaten' window in the GEOrganizer software. It features a table for campaign selection and several input fields for data entry.

| Messkampagnenauswahl | |
|----------------------|----------------|
| 1 | Unbekannt |
| 2 | Vollgger, Mali |
| 5 | Moik, Klaf |

Messkampagne Nr.: 2 **Jahr:** 2009
Gemessen von: Vollgger, Mali
Messdatum: November 2009
Hinweis: Aufnahme von Großstörungen

Abb. 72: Importfunktion für Gefügedaten im GEOrganizer

8.4.4.6 Verwaltung der Betriebspläne

Die Betriebspläne der letzten Jahre und Jahrzehnte enthalten oft Karten, auf welchen geologische Informationen sowie Details zu Bohrungen vermerkt sind. Um diese zu dokumentieren, wurde die Funktion Betriebspläne in den GEOrganizer implementiert (Abb. 73).

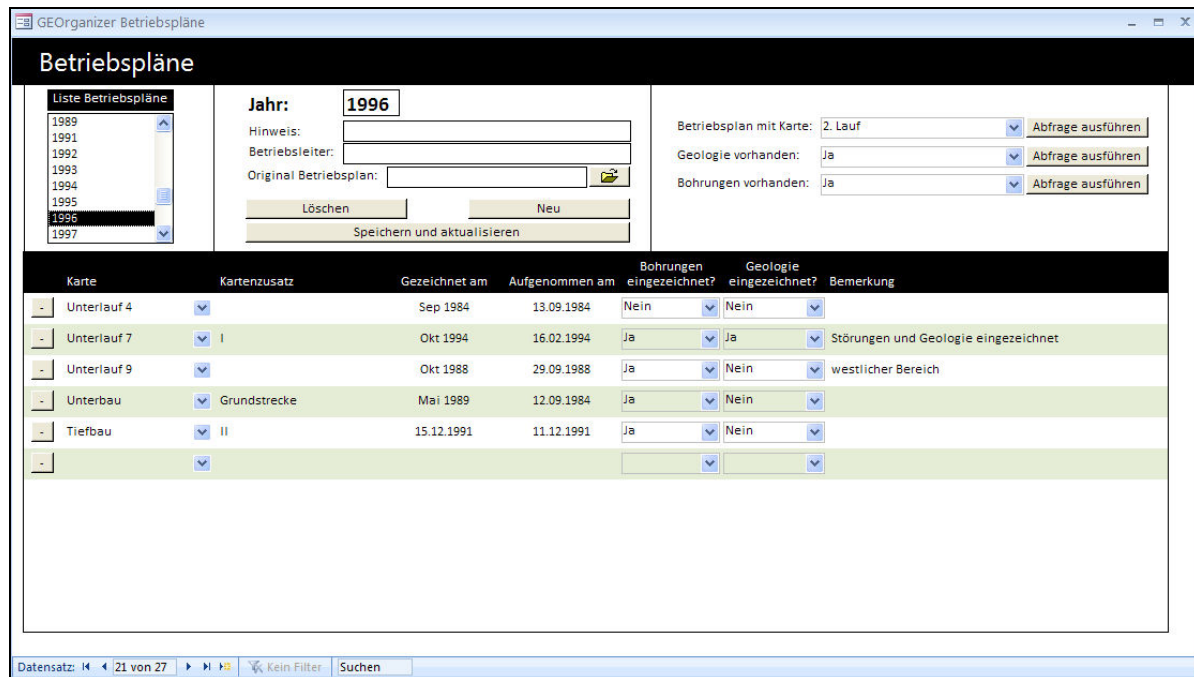


Abb. 73: Verwaltung der Betriebspläne im GEOrganizer

Die Betriebspläne sind in einer Auswahlliste chronologisch nach Jahren geordnet. Jedem Betriebsplan kann ein Hinweis so wie Betriebsleiter hinzugefügt werden. Außerdem besteht die Möglichkeit, eine direkte Verknüpfung (Hyperlink) zum Originalbetriebsplan herzustellen, falls dieser digital vorhanden ist. Es wird empfohlen, alle digital vorhandenen Betriebspläne aus Gründen der Übersichtlichkeit im selben Verzeichnis doku\betriebsplan abzuspeichern (Kapitel 8.4.4).

Jedem Betriebsplan können nun einzelne Karten zugeordnet werden. Jeder Karte wiederum kann ein Kartenzusatz, Zeichnungsdatum, Aufnahmedatum und eine Bemerkung angefügt werden. Zusätzlich erfolgt die Angabe, ob die jeweiligen Karten Bohrungen bzw. geologische Informationen beinhalten.

Um schnell auf gewünschte Karten zugreifen zu können, wurden angepasste Abfragen erstellt. Es besteht somit die Möglichkeit, Betriebspläne...

- mit bestimmten Karten (z.B. des Hoffungsstollens) ODER
- mit Karten, welche geologische Informationen enthalten ODER
- mit Karten, welche Bohrungen (Ansatzpunkte, Verläufe, ...) enthalten

... abzufragen und als Liste auszugeben.

8.5 Modellerstellung

Bei der Modellerstellung wird mit Hilfe aller verifizierten geologischen Kartierungsdaten und der Bergbauplanungssoftware Surpac Vision ein geologisches 3d-Modell erstellt.

Was ist ein Modell?

Laut der Allgemeinen Modelltheorie (1973) nach HERBERT STACHOWIAK ist der Begriff Modell durch drei Merkmale gekennzeichnet.

1. **Abbildung:** Ein Modell ist immer ein Abbild von etwas, eine Repräsentation natürlicher oder künstlicher Originale
2. **Verkürzung:** Ein Modell erfasst nicht alle Attribute des Originals, sondern nur diejenigen, die dem Modellschaffer bzw. Modellnutzer relevant erscheinen
3. **Pragmatismus:** Pragmatismus bedeutet so viel wie Orientierung am Nützlichen, z.B. durch die Fragen: Für wen? Warum? Wozu?

Ein Modell zeichnet sich also durch Abstraktion aus, die bewusste Vernachlässigung bestimmter Merkmale, um die für den Modellierer oder den Modellierungszweck wesentlichen Modelleigenschaften hervorzuheben. Jedes Modell erfüllt einen bestimmten Zweck. Im Fall Waldenstein sollte das Modell zu einem besseren Verständnis der Form und Ausdehnung der Lagerstätte sowie von vererzungskontrollierenden Strukturen beitragen und als Werkzeug und Informationsquelle für Explorationstätigkeiten dienen (Kapitel 9).

Im ersten Schritt wurde das Grubengebäude als dreidimensionales Objekt erstellt. Dazu wurden die bereits in AutoCad vorhandenen Scheibenkarten des letzten Betriebsplanes 2008 bis 2010 in Surpac importiert, bereinigt und mit fortlaufenden Vermessungen aktualisiert. Zusätzliche wurden Bereiche (z.B. Tiefbau), die nicht digital als AutoCad Dateien vorhanden waren, in Surpac Vision digitalisiert und daraus ein dreidimensionales Objekt erstellt.

Es wird farblich zwischen offenen Strecken (dunkelgrün), versetzten Strecken (grau) sowie Schächten (hellgrün) unterschieden (Abb. 74).

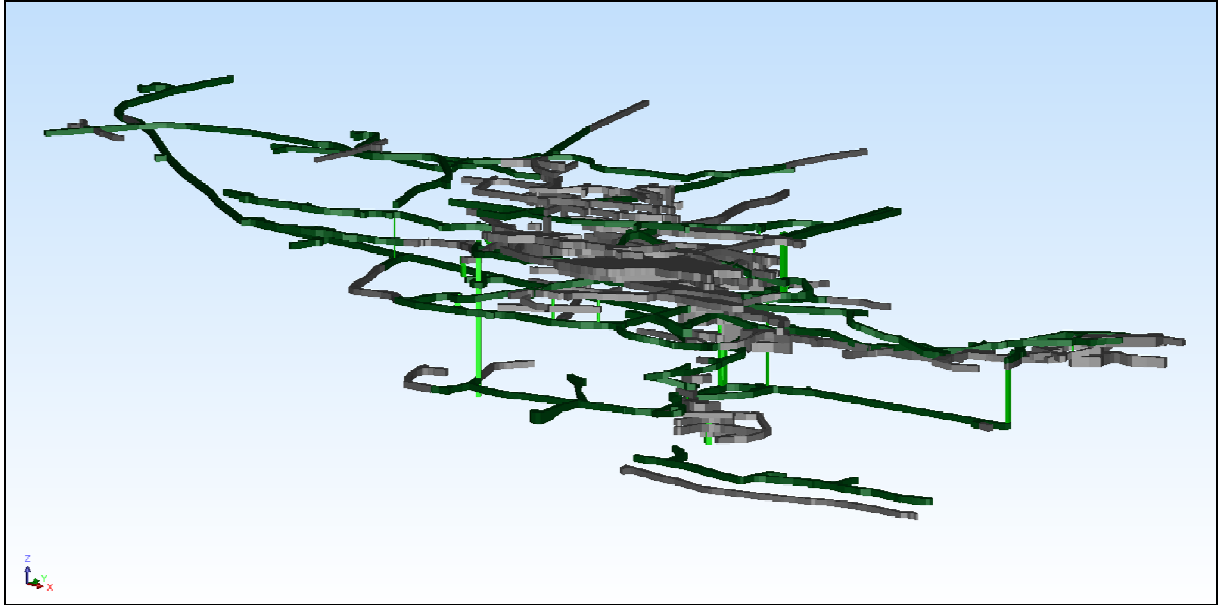


Abb. 74: Dreidimensionales Grubengebäude, Y = Nord, X = Ost

Zu Beginn der geologischen 3d-Lagerstättenmodellerstellung wurden alle geologischen Karten der bisherigen und zusätzlich durchgeführten Untertagekartierungsarbeiten (GEOrganizer Funktion Kartierungsdaten) gescannt, bei Bedarf am Computer nachbearbeitet (Farbe, Helligkeit, Kontrast) und anschließend in Surpac Vision von Hand am Bildschirm digitalisiert. Auf die Digitalisierung der (hochgeklappte) Ulmen wurde verzichtet, da die darin enthaltenen geologischen Informationen nicht mit vertretbarem Aufwand in ein 3d-Modell eingebunden werden können. Dies bedeutet, es wurden lediglich die geologischen Informationen der Firste digitalisiert und im nächsten Schritt in das Modell übernommen (Abb. 75).

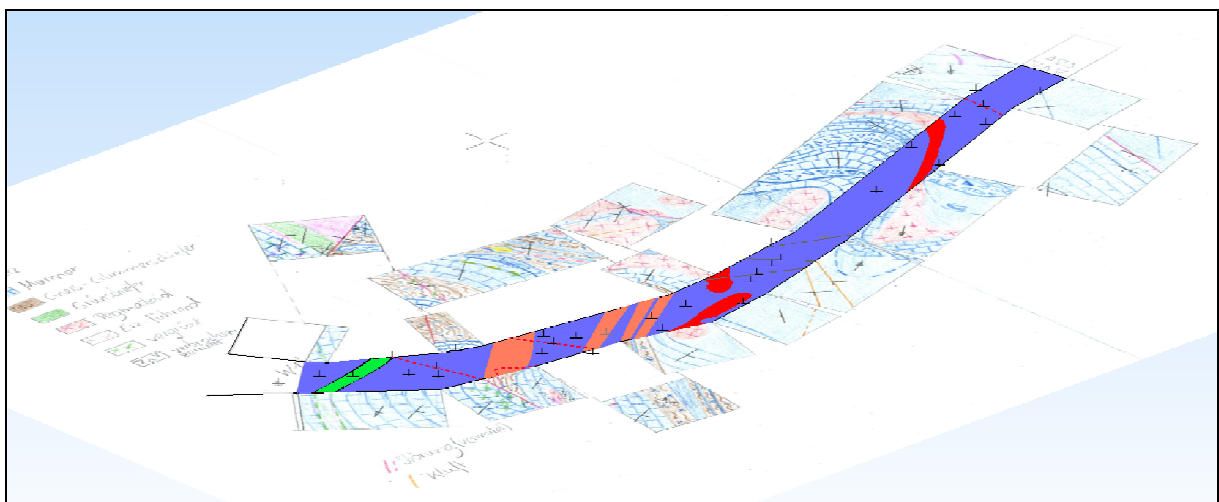


Abb. 75: Digitalisierung der Firste in Surpac Vision

Um alle geologischen Karten auf denselben Standard zu bringen und somit zusammenfügen und vergleichen zu können, wurden auszuweisende Lithologien zu Beginn der Digitalisierung festgelegt. Im Fall Waldenstein wurde der Gneis und Glimmerschiefer aufgrund der oft graduellen Übergänge zusammengefasst. Der Grünschiefer, bei dem es sich um einen stark chloritisierten Glimmerschiefer handelt, wurde separat ausgewiesen, da dieser Rückschlüsse auf eventuelle hydrothermale Aktivitäten zulässt. Auf eine Unterscheidung zwischen Marmor und Silikatmarmor wurde verzichtet, da hier ähnlich dem Gneis-Glimmerschiefer je nach Glimmergehalt graduelle Übergänge beobachtet werden konnten (Kapitel 5.1). Zusätzlich werden im Modell Pegmatite dargestellt, welche jedoch in keiner Verbindung zur Vererzung stehen und im Vergleich zum Marmor und Gneis nur untergeordnet auftretenden. Der Eisenglimmer selbst wurde als eigene Lithologie dargestellt. Eisenglimmerführender (=erzführender) Grünschiefer und Marmor erhielten im Lagerstättenmodell eine Übersignatur (Farbkodierungstabelle im Anhang III). Zusätzlich wurden Störungen, Bereiche mit eingebrachten Ausbau sowie Vermessungspunkte digitalisiert. Letztere dienten zur nachfolgenden Georeferenzierung der geologischen Karten. Das Ergebnis dieser „2d-Transformation“ und damit einhergehenden Rotation, Translation und Skalierung war eine lagerichtige geologische Karte. Im abschließenden Schritt erfolgte die Höhenanpassung (Z-Anpassung) in Surpac Vision, wobei die digitalisierte Geologie auf die dreidimensional vorhandene Streckenfirstfläche gelegt wurde. Das Endergebnis ist ein höhen- und lagerichtiges, dreidimensionales Abbild der Geologie, welche in der Gesamtheit das 3d-Lagerstättenmodell aufspannen (Abb. 76).

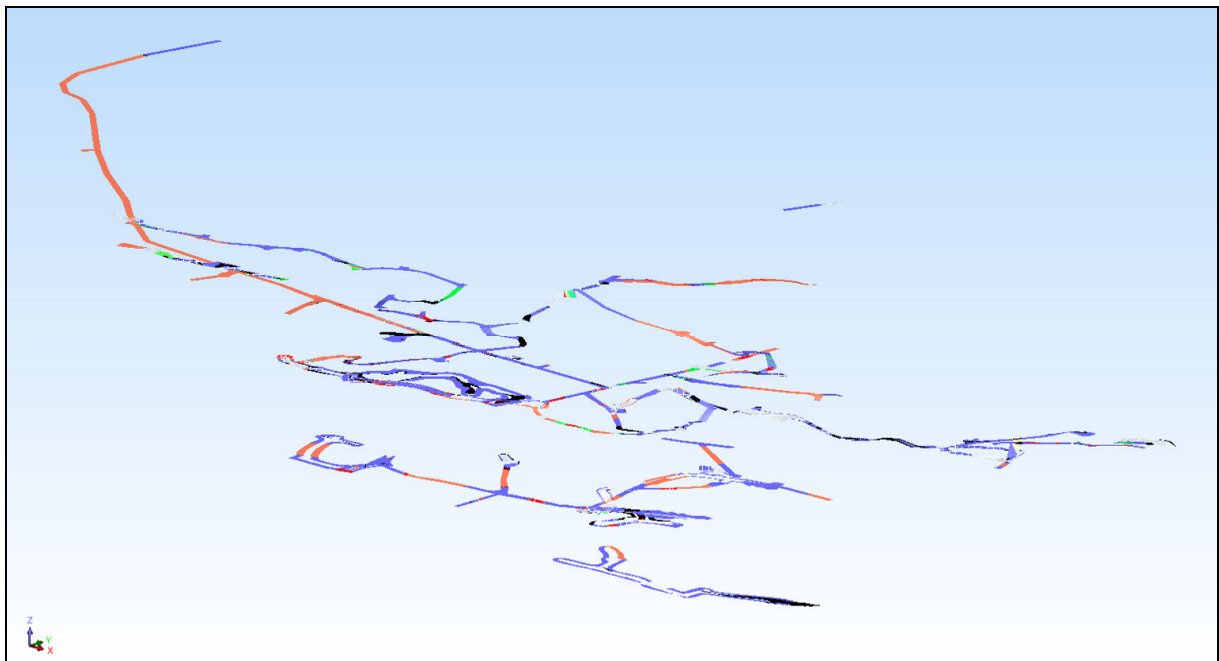


Abb. 76: Dreidimensionales geologisches Modell der Lagerstätte (Stand Dezember 2009)

Y = Nord, X = Ost, E-W-Erstreckung ~550m, N-S-Erstreckung ~270m

Aus der Geometrie der versetzten Bereiche, an denen in der Vergangenheit Eisenglimmer abgebaut wurde (Betriebspunkte), konnten tiefgreifende, steilstehende Erzkörper modelliert werden. Diese werden im Modell gesondert ausgewiesen.

Somit wurde ein geologisches Modell geschaffen, welches frei von Interpretationen ist und deshalb unabhängig von der Lagerstättengenese (epigenetisch versus syngenetisch) verwendet werden kann. Zur dreidimensional dargestellten Geologie können nun zusätzlich Informationen aus dem GEOrganizer (Bohr- und Gefügedaten) aufgerufen und in Surpac Vision visualisiert werden (Kapitel 8.5.1). Die Gesamtheit dieser Daten kann nun für eine geologische Interpretation verwendet werden.

Die geologische Modellierung ist als ein kontinuierlicher Prozess anzusehen, es kann somit von einem dynamischen Modell gesprochen werden. Aufgrund dessen muss eine einfache Möglichkeit zur Aktualisierung gegeben sein, um das Lagerstättenmodell erweitern und optimieren zu können. Das geologische 3d-Lagerstättenmodell stellt eine vereinfachte Situation der in Realität komplexen Geologie dar, um diverse Fragestellungen beantworten zu können.

Im Fall Waldenstein ist eine automatisierte geologische Interpretation respektive Modellierung aufgrund der komplexen Lagerstättenverhältnisse nicht erfolgreich anwendbar.

8.5.1 3d Darstellung geologischer Daten

Für die dreidimensionale Darstellung von geologischen Daten in Surpac Vision wird je nach Datentyp auf unterschiedliche Visualisierungsarten zurückgegriffen.

8.5.1.1 Hammerbohrungen

Hammerbohrungen respektive Schmantbohrungen, welche in der Hammerbohrdatenbank des GEOrganizers abgespeichert und somit dokumentiert sind, werden in Surpac Vision als zylindrischer Bohrlochpfad mit Farbkodierung (je nach Gestein) inklusive Bohrlochbezeichnung am Bohrlochtieftesten dargestellt (Abb. 77). Es wird farblich zwischen Gestein (orange), Erz (schwarz) und Gemischt (grau) unterschieden. Die Position, Richtung und Neigung des Bohrloches wird aus der Hammerbohrdatenbank (GEOrganizer) entnommen. Änderungen in der Datenbank haben eine direkte Auswirkung auf die Darstellung in Surpac. Dies dient auch zur Kontrolle der neu eingegebenen Hammerbohrdaten und hilft somit, Eingabe- und Messfehler schnell identifizieren zu können.

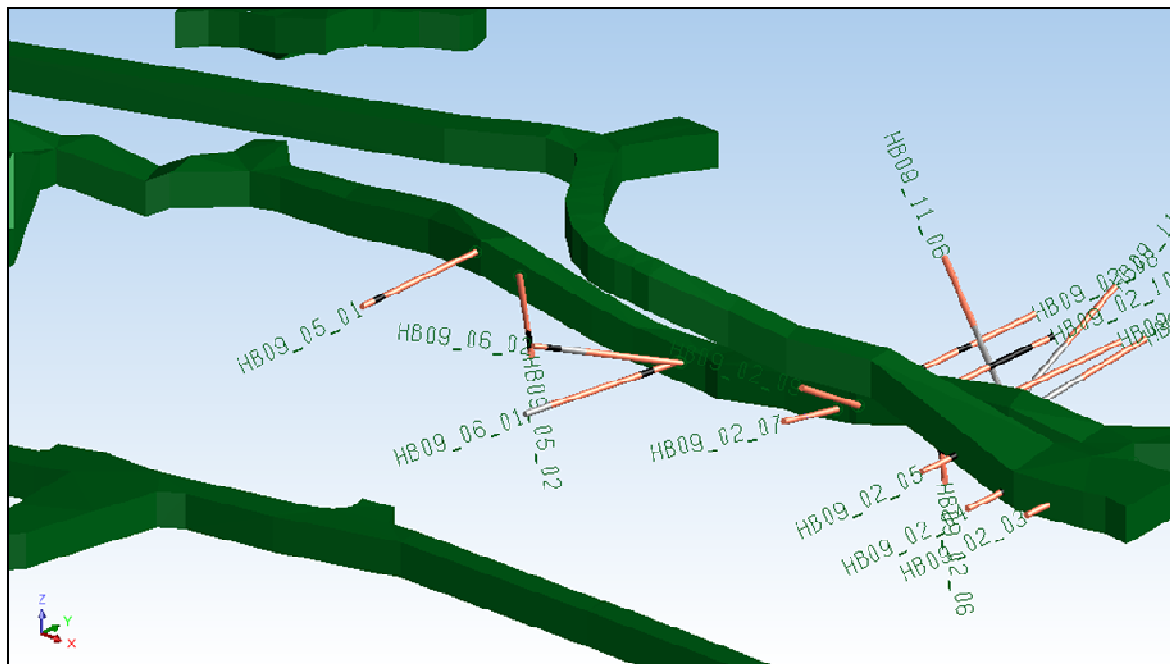


Abb. 77: Zylindrische, dreidimensionale Bohrlochpfaddarstellung der Hammerbohrungen

8.5.1.2 Kernbohrungen

Kernbohrungen, welche in der Kernbohrdatenbank des GEOrganizers gespeichert sind, werden in Surpac als Bohrlochpfad mit Farbbalken sowie Bohrlochbezeichnung im Bohrlochtiefsten dargestellt (Abb. 78). Der Verlauf des Bohrlochs wird als grüne Linie dargestellt. Links und rechts davon befinden sich je nach Geologie farblich gekennzeichnete Balken. Der linke, breitere steht für die neu erhobene detaillierte Geologie der vorhandenen Bohrkerne. Der rechte, schmalere Balken repräsentiert die direkt im Bohrprotokoll vermerkte Geologie. Auf einem Blick kann somit festgestellt werden, ob die Bohrung detailliert geologisch dokumentiert wurde und inwieweit diese mit der Geologie laut Bohrprotokoll (geologische Ansprache des Gesteins durch den Bohristen) übereinstimmt. Die Legende zu den Farbkodierungen befindet sich im Anhang III.

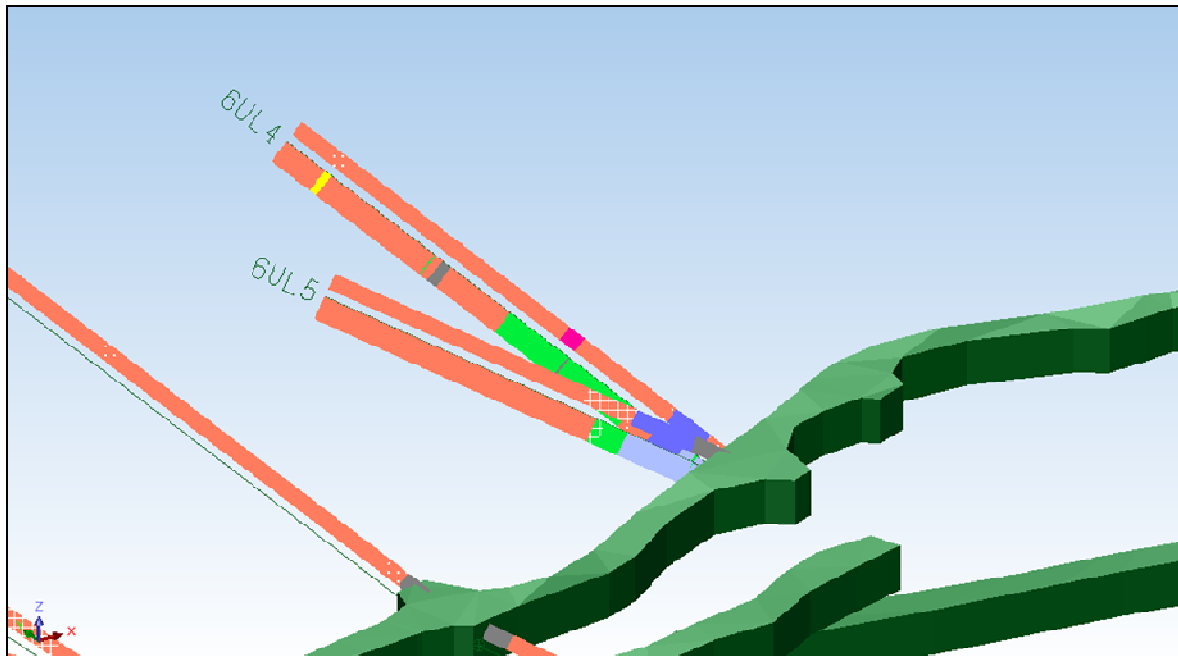


Abb. 78: Dreidimensionale Darstellung von Kernbohrungen in Surpac Vision

Alle in der Kernbohrdatenbank des GEOrganizers gespeicherten Details der einzelnen Bohrungen können auch in Surpac Vision abgerufen werden (Abb. 79). Dabei wird sowohl die detaillierte Geologie als auch die geologische Aufnahme laut Bohristen inklusive Legende dargestellt.

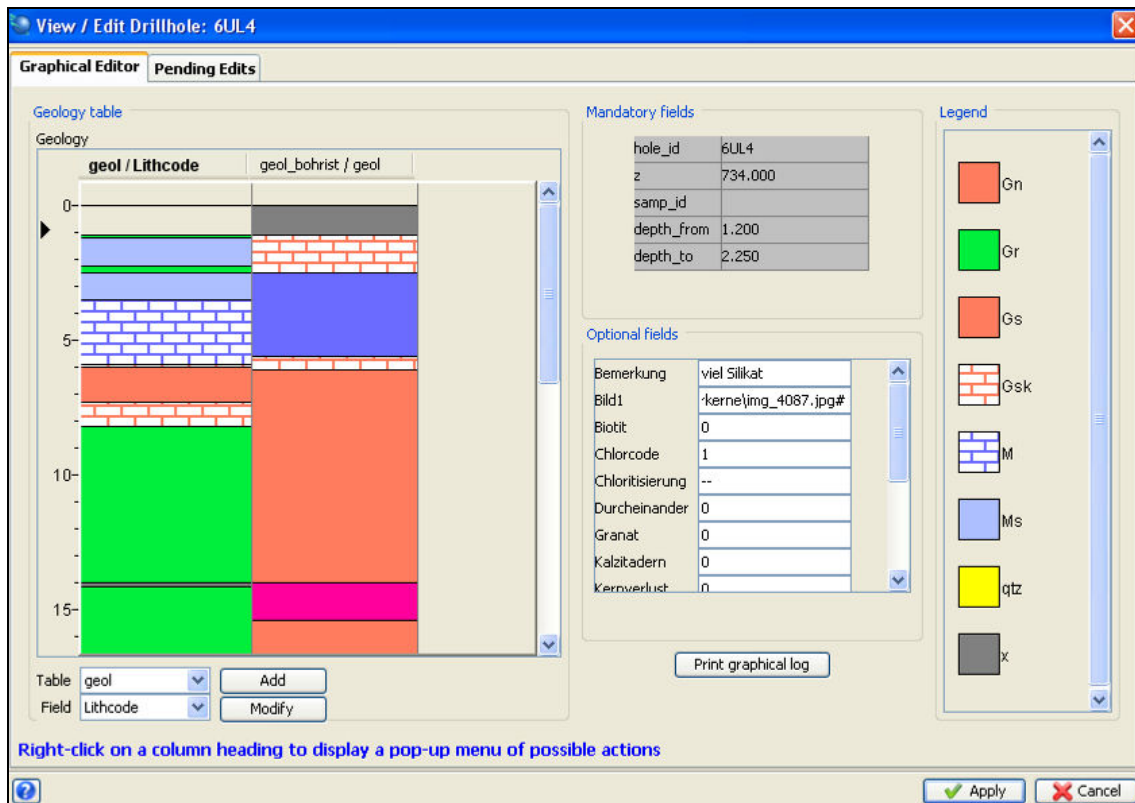


Abb. 79: Grafische Detaildarstellung einer einzelnen Kernbohrung in Surpac Vision

Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird es oft gewünscht, Kernbohrungen selektiv auszuwählen. In Surpac Vision können hierzu gezielt Abfragen (sogenannte Constraints) durchgeführt werden. Somit ist es unter anderem möglich, nur einzelne Bohrlöcher sowie Bohrlöcher eines bestimmten Reviers darstellen zu lassen (Abb. 80).

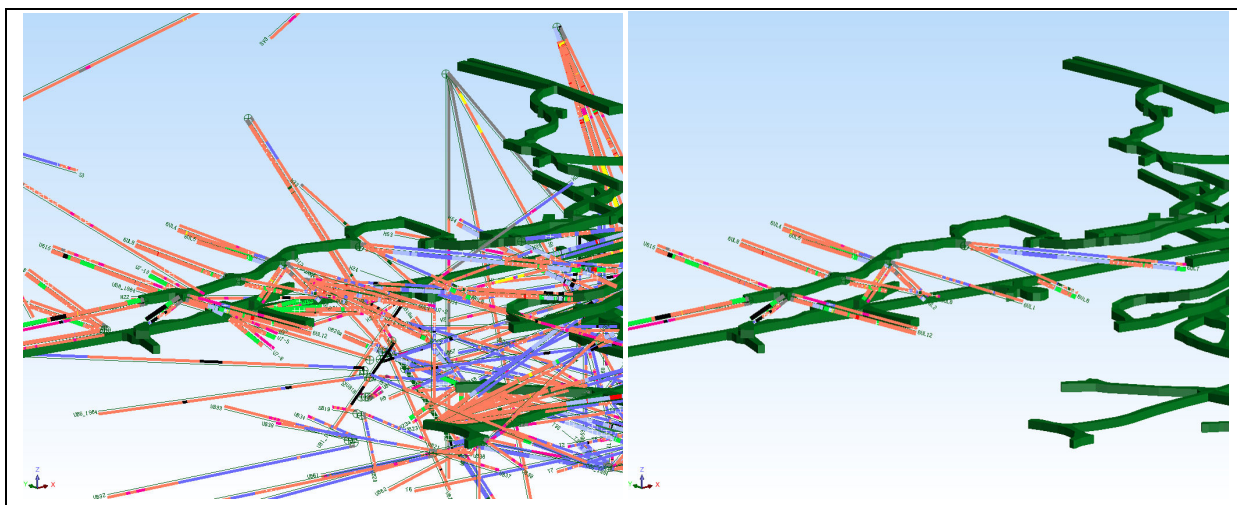


Abb. 80: Gleiche Ansicht zum Vergleich der Übersichtlichkeit; Anzeige aller Kernbohrungen (links) und nur ausgewählter Kernbohrungen des Reviers Unterlauf 6 (rechts)

Für eine gezielte Auswertung der geologischen Daten sind umfangreiche Abfrage- sowie Ein- und Ausblendfunktionen, welche mittels GEOrganizer in Verbindung mit Surpac Vision gegeben sind, unerlässlich. Es werden die Stärken einer Datenbank (GEOrganizer) mit der eines professionellen Visualisierungsprogrammes (Surpac Vision) verknüpft.

8.5.1.3 Gefügedaten

Im GEOrganizer werden, wie in Kapitel 8.4.4.5 beschrieben, auch Gefügedaten gespeichert. Alle Messwerte von Schieferungen, Störungen und Klüften besitzen auch x, y, und z Koordinaten und können so im dreidimensionalen Raum dargestellt werden. Da es sich bei vorhin erwähnten Gefügemerkmalen um flächige Elemente handelt, werden diese in Surpac Vision automatisiert erstellt und als sogenannte „Gefügeflächen“ dargestellt. Diese repräsentieren den gemessenen Wert als eine dreidimensionale, je nach Lithologie gefärbte Fläche (mit Standardabmessungen 1m x 1m) und sind als Hilfsmittel für die geologische Interpretation anzusehen. Ein ähnlicher Ansatz wurde bereits mit der sogenannten Geokachel verfolgt (HÖSER & JAKOB 2006; GÖRNE & KRENTZ 2007).

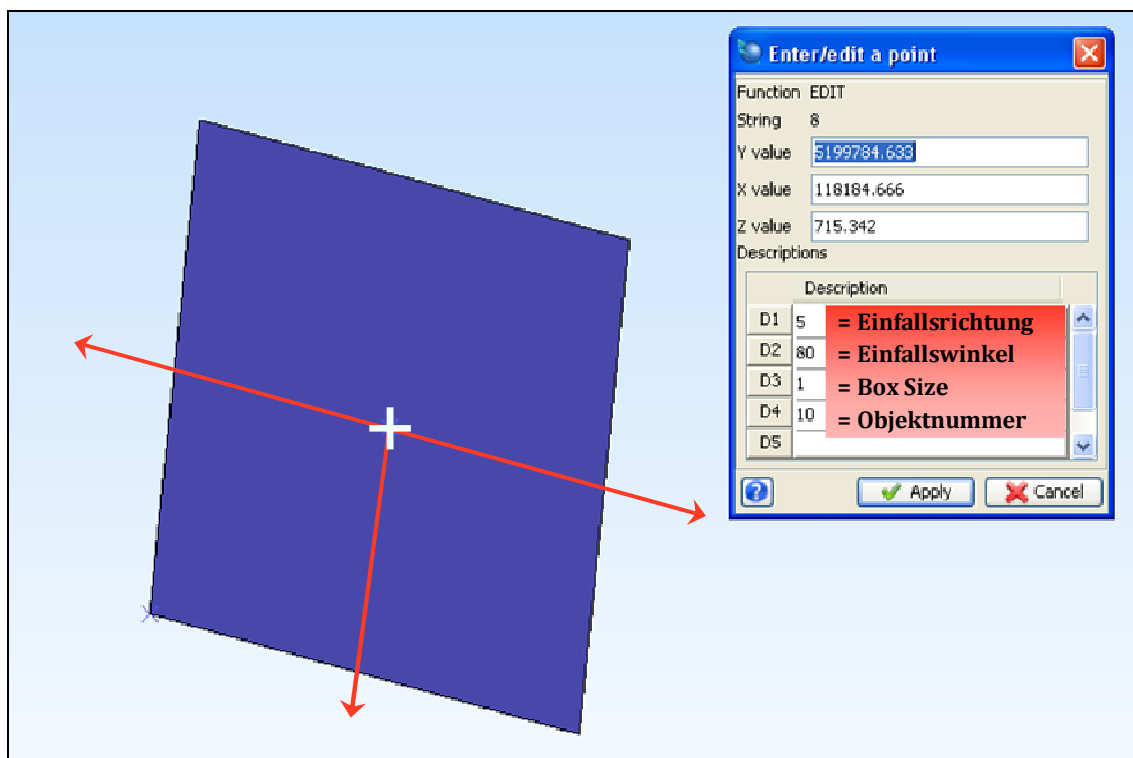


Abb. 81: Gefügefläche mit Mittelpunkt (weiß), in welchem alle relevanten Informationen (Richtung, Neigung, Box Size, Objektnummer) gespeichert sind

Zur (halb-) automatisierten Gefügeflächenerstellung in Surpac werden die im GEOrganizer gespeicherten Gefügedaten mit der integrierten Funktion als txt-Datei exportiert, mittels Makro

in Surpac Vision eingelesen und die dazugehörigen Gefügeflächen erstellt. Die txt-Datei ist prinzipiell eine Liste von Punkten, welchen neben den obligatorischen Koordinaten zur Positionierung auch weitere Werte angefügt sind. Im Fall der Gefügedaten sind dies neben der x, y, und z-Koordinate vier zusätzliche Werte (Abb. 81):

- *Azimut = Winkel gegen die Nordrichtung laut Geologenkompass nach Prof. CLAR*
- *Dip = Einfallswinkel*
- *Box Size = Größe der quadratischen Gefügefläche in Surpac Vision; standardmäßig 1, d.h. Gefügefläche hat Abmessungen von 1 x 1m*
- *Object = bestimmte Nummer je nach Lithologie respektive Art; wird automatisch im GEOrganizer angefügt und ist für die Farbgebung der Gefügefläche verantwortlich*

Diese automatische Gefügeflächenerstellung kann nun für Teile so wie die gesamten verfügbaren Gefügepunkte angewendet werden (Abb. 82). Die Auswahl erfolgt über die entsprechenden Funktionen der Gefügedatenverwaltung des GEOrganizers (Kapitel 8.4.4.5).

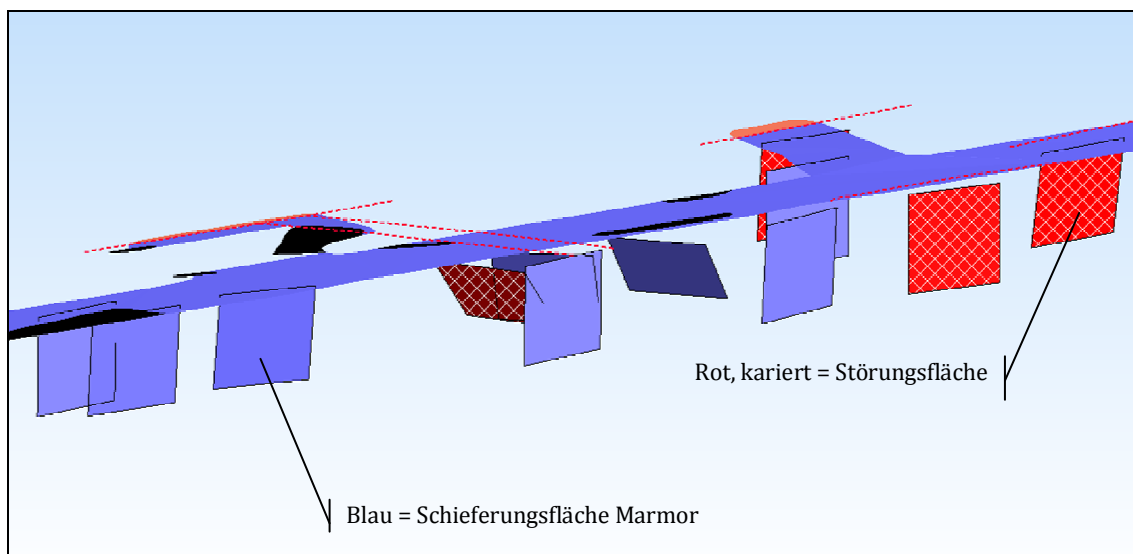


Abb. 82: Darstellung von Gefügeflächen im Bereich Hoffnungsstollen inkl. dreidimensionaler Geologie der Firste

Die farbliche Unterscheidung der Gefügeflächen ist nach denselben Richtlinien wie die der Bohrungen und des 3d-Lagerstättenmodells (Farbkodierungstabelle Anhang III) durchgeführt worden. Aufgrund dieser Standardisierung ist eine schnelle und richtige Ansprache im Modell möglich.

8.5.1.4 Darstellung als Blockmodell

Eine weitere Darstellungsmöglichkeit bietet das sogenannte Blockmodell. Dabei wird die gesamte Lagerstätte in Blöcke (Quader) mit definierter Seitenlänge (in Waldenstein 1x1x1m) unterteilt. Jedem Block können anschließend unterschiedlichste Attribute wie z.B. die Lithologie zugeordnet und in unterschiedlichen Farben dargestellt werden (Abb. 83).

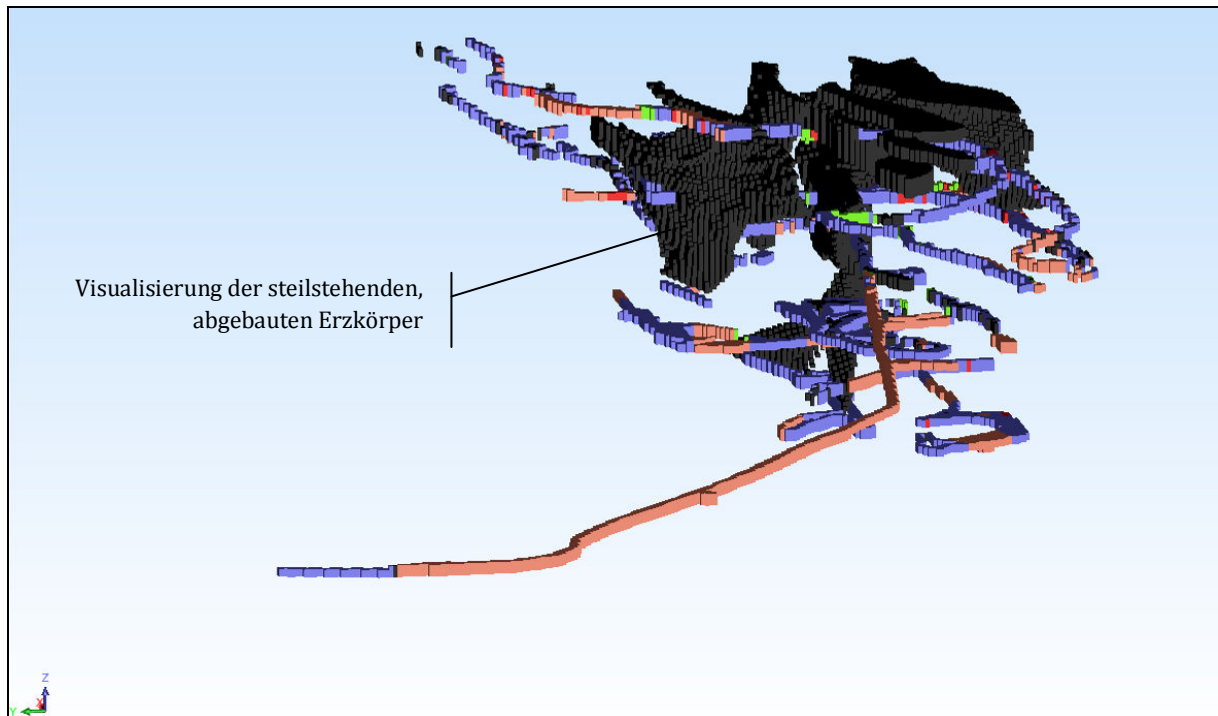


Abb. 83: Blockmodell der Lagerstätte Waldenstein (Stand Dezember 2009)

Dies bietet besonders für zukünftige Interpretationen der Lagerstätte Vorteile, da im selben Modell jedem Block mehrere Attribute zugewiesen werden und somit verschieden Varianten von Interpretationen gespeichert und visualisiert werden können.

Außerdem besteht die Möglichkeit, auch die im GEOrganizer gespeicherten Kernbohrdaten ins Blockmodell zu integrieren und darzustellen (Abb. 84).

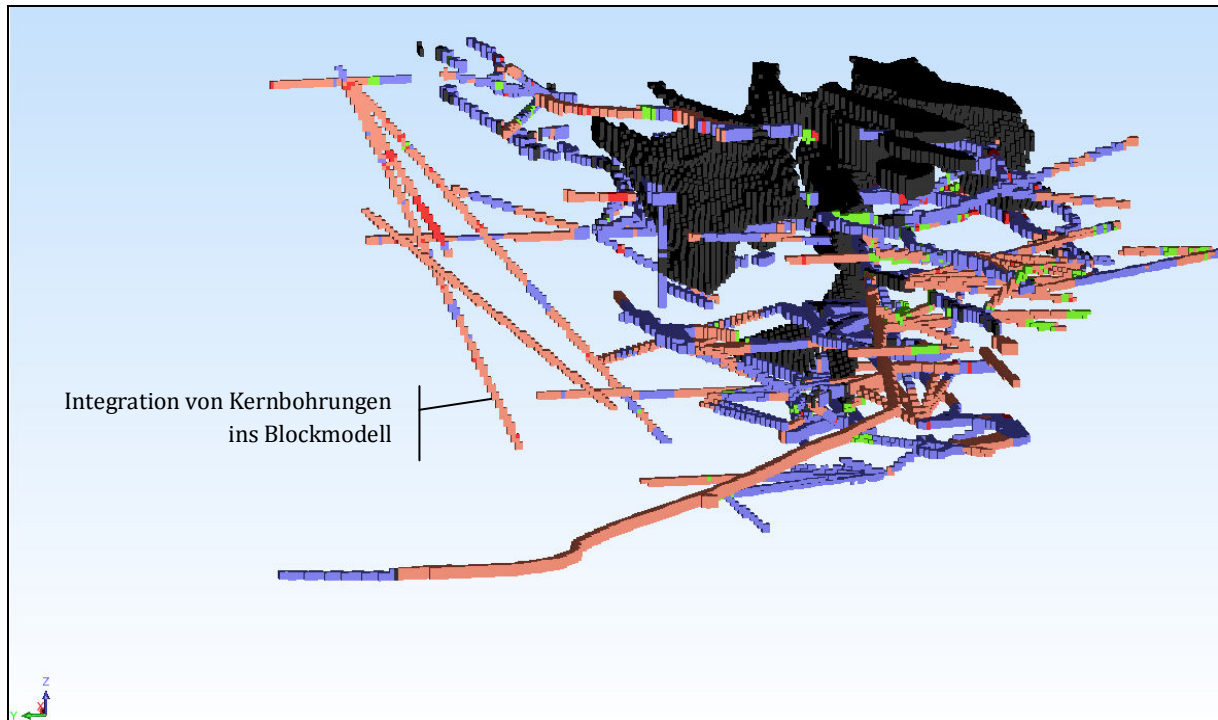


Abb. 84: Blockmodell mit integrierten Kernbohrdaten (Stand Dezember 2009)

Das Blockmodell bietet somit eine zusätzliche Darstellungsvariante. Die Aktualisierung und Erweiterung des Blockmodells ist zeitaufwändig. Mit Einsatz von Makros kann dieser aber erheblich verkürzt werden.

8.5.2 Vorteile der 3d-Modellierung

Jedem Menschen wurden zwei Augen gegeben und somit die Fähigkeit, dreidimensionale Objekte wahrzunehmen. Geologische Karten zeigen ein zweidimensionales Abbild der Geologie. Sogar für Geübte ist es oft schwierig, sich die Lage der einzelnen geologischen Einheiten im dreidimensionalen Raum vorzustellen. Genau an diesem Punkt zeigt die computergestützte 3d-Modellierung ihre Stärken und hilft, komplexe geologische Gegebenheiten zu visualisieren, verständlich und „vorstellbar“ zu machen.

Zusätzlich ist die 3d-Modellierung ein großes Hilfsmittel sowohl für die Interpretation des Lagerstättenverlaufs als auch für die Exploration. Unter Zuhilfenahme des dreidimensionalen Modells können gezielt Kernbohrungen in Höffigkeitsgebiete geplant und somit unnötige und kostspielige Kernbohrungen vermieden werden. Im April 2009 konnte dies erfolgreich unter Beweis gestellt werden. Bereits die erste der geplanten Explorationskernbohrungen durchbohrte den im Modell prognostizierten erzführenden Kontakt Marmor-Silikatmarmor zu Gneis-Glimmerschiefer. Leider war die angetroffene Erzmächtigkeit zu gering für eine derzeit wirtschaftliche Gewinnung des Wertminerals.

In der Erdölindustrie wird schon seit Jahren erfolgreich mit geologischen 3d-Modellen gearbeitet und Explorationsbohrungen unter dessen zu Hilfenahme geplant. Diese Technik ist, wie man am Beispiel Waldenstein sieht, auch im „kleinen“ Maßstab erfolgreich anwendbar.

Weiters stellt die dreidimensionale Speicherung und Visualisierung der geologischen Daten auch eine Dokumentation dieser dar. Im Fall Waldenstein wird durch das Zusammenspiel des GEOrganizers und Surpac Vision dieser Nutzen verstärkt.

Last but not least können 3d-Bilder der Lagerstätte für Präsentationen (z.B. für Investoren oder die Öffentlichkeit) eingesetzt werden. Denn wie es bereits Hr. Frederic Classon so passend ausdrückte: ***„3D Models are Making Cents. When it Comes to Money, Investors Like What They See...“***

9 Explorationsbohrungen 2009

Für einen fortlaufenden und reibungslosen Betrieb des Bergbaues Waldenstein sind ständige Explorationsbohrungen unabdinglich. In den letzten Jahren wurde dies verabsäumt. Die letzte (leider unvollständig) dokumentierte Bohrung wurde im Juli 2001 im Bereich Unterbau abgeteuft. Seither beschränkte sich die Explorationstätigkeit auf Hammerbohrungen (maximale Tiefe von 15m) sowie direkt über neue Streckenauffahrungen.

Die in der Vergangenheit geleisteten Explorationsarbeiten (besonders unter Herrn Prugger) waren langfristig ausgerichtet und dienten bis dato als Rohstoffabsicherung. Laut Gesprächsprotokollen war laut damaligen Erkenntnissen mit einem Ende des Bergbaus Waldenstein mit dem Jahre 2010 zu rechnen.

Für die Zukunft muss deshalb vermehrt in die Exploration investiert werden, um den Fortbestand der Grube Waldenstein zu sichern. Explorationsbohrungen sollen nicht nur sporadisch sondern organisiert und ständig durchgeführt werden, um eine mittel- bis langfristige Abschätzung der Reserven vornehmen zu können.

Laut Gespräch mit DI Prugger war die Lagerstätte angeblich bereits vor über 20 Jahren „ausgeerzt“. Durch damals ausgedehnte Exploration (z.B. Feststellung von Erz Richtung Osten; heutiger 9. Unterlauf Ost) konnte bis dato der Betrieb erfolgreich aufrecht erhalten werden.

Im Zuge der Erstellung des 3d-Lagerstättenmodells wurden im April 2009 im Bereich 4. Unterlauf (Vermessungspunkt 109J4) bereits 2 Kernbohrungen Richtung Süden abgeteuft (KB09_UL4_1 & KB09_UL4_2). Diese durchteuften erzführenden Marmor, mussten allerdings aufgrund gestörter Gebirgsverhältnissen bei 35,35m bzw. 38,6m aufgegeben werden.

Im Juli und August 2009 folgten vier weitere Kernbohrungen im Bereich 9. Unterlauf Ost. Zuerst wurde die Mächtigkeit des Marmors sowie dessen nördlichen Kontakt zum Gneis-Glimmerschiefer mittels der Bohrung KB09_UL9_01 bestimmt. Nach 8,4m Marmor folgte ein 2m mächtiger, stark chloritisierter Abschnitt, welcher Spuren von Erz indizierte. Der restliche Abschnitt der Bohrung verlief im Gneis, welcher von 2 dünneren Marmorbändern durchzogen wurde. Da bis 36,3m kein Marmor folgte, wurde die Bohrung eingestellt.

Vom selben Ansatzpunkt aus war angedacht, die Fortsetzung des Marmors Richtung Osten abzusichern. Allerdings konnte dies aufgrund des dort eingebrachten Versatzes und eines Verbrauchs nicht durchgeführt werden.

Die Kernbohrmaschine wurde für die Bohrungen KB09_UL9_02, KB09_UL9_03 und KB09_UL9_04 Richtung Süden, in die Nische Nahe dem Blindschacht 6, 17,5m südwestlich vom Vermessungspunkt 08W14, versetzt. Die ersten 2 Bohrungen wurden steigend (+5 und +20°) Richtung NW (290°) abgeteuft. Sie dienten zur Feststellung der Geologie oberhalb der darunter versetzten Bereich sowie zur Bestimmung des nördlichen Kontaktes des Marmors zum Gneis-Glimmerschiefer, ähnlich der Bohrung KB09_UL9_01. Direkt oberhalb der bereits versetzten Erzkörper konnten stark vergrünte Bereiche (in Bohrung als Grünschiefer) festgestellt werden. Richtung Norden hin konnte innerhalb des Marmors 0,6m Erz in Bohrung KB09_UL9_02 und 0,3m Erz in Bohrung KB09_UL9_03 erbohrt werden, wobei auch der angrenzende Marmor Erzspuren aufwies. Der bei ca. Bohrmetern 50 auftretende Kontakt zwischen Marmor und dem

Gneis-Glimmerschiefer dürfte gestört sein, was den hohen Kernverlust in diesem Bereich erklärt. Ab diesem Kontakt folgte nur noch Gneis-Glimmerschiefer, weshalb die Bohrung KB09_UL9_02 bei 62,5m und die Bohrung KB09_UL9_03 bei 60,6m eingestellt wurden.

Eine weitere Bohrung namens KB09_UL9_04 wurde von derselben Position 15° steigend Richtung Norden (0°) vorgetrieben. Dabei zeigte sich ähnliches wie in den zwei vorher erwähnten Bohrungen. Direkt oberhalb des Erzkörpers konnte in der Bohrung nur ein stark vergrünter Bereich festgestellt werden. Bei Bohrmeter 23,4 wurde der nördliche Kontakt ermittelt, der Erzspuren aufwies. Am Bohrlochende befindet sich ein 1,5m mächtiger lehmführender Störungsbereich, an welchem auch die Bohrung eingestellt wurde.

Die Erzkörper im 9. Unterlauf Ost scheinen am aktuellen Niveau (faltungsbedingt) flach einzufallen, was deren fehlende Fortsetzung nach oben hin erklärt (siehe Bohrung KB09_UL9_02, KB09_UL9_03, KB09_UL9_04).

Der gesamte 9. Unterlauf Ost ist bis dato unzureichend exploriert. Lediglich 7 Kernbohrungen (davon 4 im Jahre 2009) decken diesen Bereich ab (Abb. 85). Bei den restlichen 3 handelt es sich um Obertagebohrungen (O1, O2, O3) aus dem Jahre 1979.

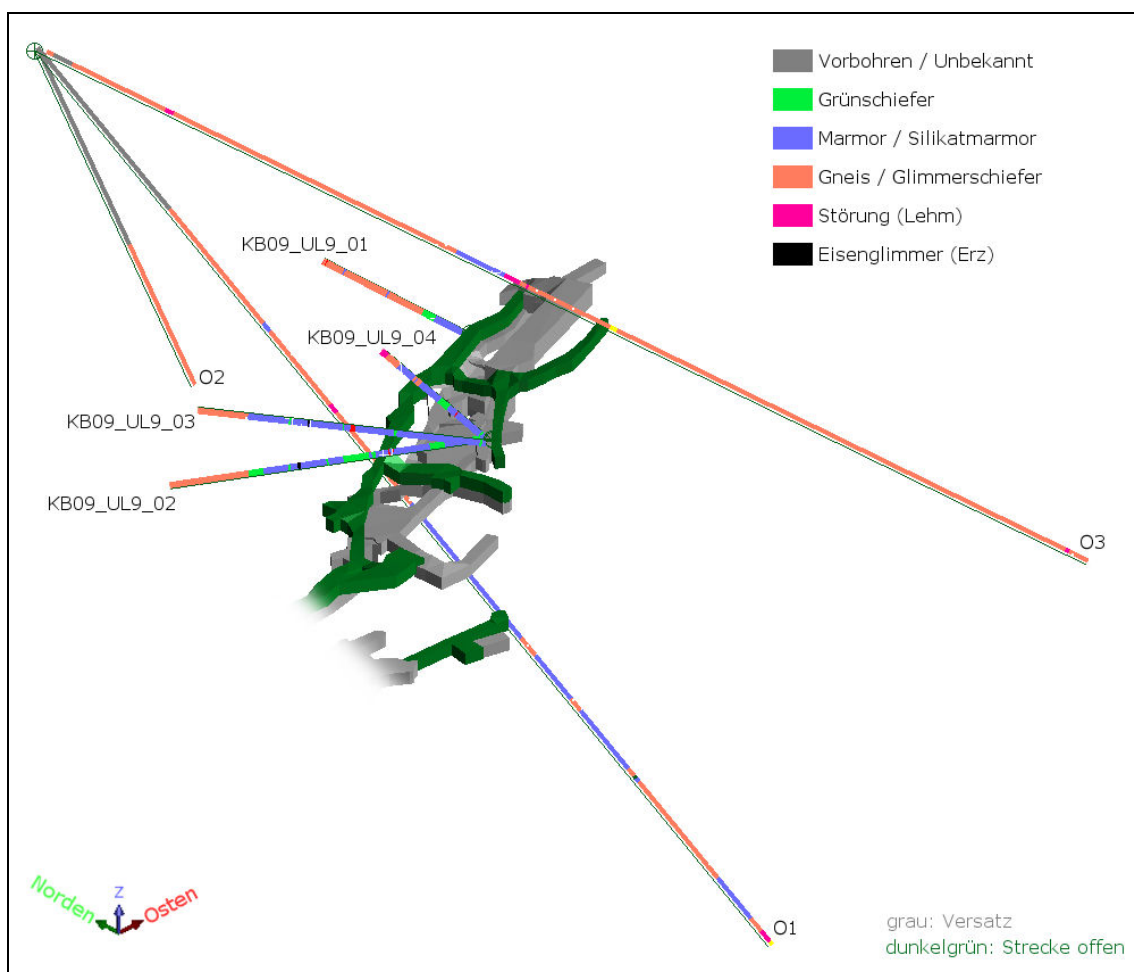


Abb. 85: Kernbohrungen im Bereich 9. Unterlauf Ost (Stand Dezember 2009)

Besonders die südlichen, südwestlichen und südöstlichen Bereiche des 9. Unterlauf Ost sowie die Fortsetzung des Marmors Richtung Osten sollten genauer untersucht werden. Der geplante Start dieser Kernbohrungen ist für Frühjahr 2010 angesetzt.

10 Schwierigkeiten

Im Fall Waldenstein war die Datenerhebung und -bewertung sehr zeitintensiv, da aufgrund der langen Geschichte des Bergbaues sich sehr viele unterschiedliche Personen mit der Lagerstätte beschäftigt haben und somit eine sehr heterogene Menge an Daten vorlag. Weiters kam es aufgrund von unzureichender oder fehlender Dokumentation zu Verlust von Informationen, welcher in Zukunft durch Verwendung von standardisierten Protokollen sowie der darauf abgestimmten Datenbankanwendung (GEOrganizer) verhindert werden soll.

Weitere Probleme traten bei der Einarbeitung der geologischen Karten auf, da diese unterschiedliche Farbkodierungen und Aufnahmearten (z.B. raufgeklappte Ulmen) sowie nicht einheitliche Darstellungen von Gefügedaten aufwiesen. Für die digitale Einarbeitung in Surpac Vision sowie in den GEOrganizer war deshalb eine Standardisierung respektive Normierung der Daten nach vorgegebenen Richtlinien notwendig. Aus Gründen der Aktualisierbarkeit sind diese für zukünftige Arbeiten zwingend einzuhalten.

Aufgrund der Datenfülle war es oft schwierig, passende respektive aussagekräftige und verständliche Darstellung der komplexen Geologie im dreidimensionalen Raum zu finden. Für Gefügedaten wurden deshalb wie in Kapitel 8.5.1.3 erwähnt sogenannte Gefügefleichen generiert. Für die Darstellung der Gesamtdaten, d.h. Bohrkern- sowie Kartierungsdaten scheint das Blockmodell die beste und flexibelste Lösung darzustellen.

Der generelle Zeitaufwand der Arbeit ist relativ hoch, kann aber über Automatisierungen erheblich eingegrenzt werden. Da Surpac standardmäßig die Opensource Skriptsprache TCL unterstützt, können selbst Makros programmiert und eingesetzt werden. Weiters bieten übersichtliche Eingabemasken (mit den dazu abgestimmten Protokollen) eine beträchtliche Verminderung des Aktualisierungsaufwandes.

11 Monetäre Bewertung (Kostenvergleich)

Eine monetäre Bewertung einer geologischen Kartierung / Modellierung bzw. deren Auswirkung (Stichwort ROI) ist generell schwierig. Sicherlich ist eine Kernbohrung nicht durch eine Modellierung ersetzbar, aber eventuell „einsparbar“. Damit soll zum Ausdruck gebracht werden, dass durch ein dreidimensionales Lagerstättenmodell Höffigkeitsgebiete für Explorationsbohrungen abgegrenzt werden können und so nur „sinnvolle“ Kernbohrungen abgeteufelt werden.

Im Fall Waldenstein zeigt ein vereinfachter Kostenvergleich, dass die geologischen Kosten inklusive Modellierung sowie notwendiger Software weniger als 10% der Gesamtbohrkosten betragen.

Die Gesamtbohrkosten wurden aus den in der Datenbank gespeicherten Bohrkernen von ca. 18.500m bei Bohrkosten von 160€/m mit ungefähr 2,9 Millionen Euro ermittelt. In dieser Summe sind allerdings nur dokumentierte Kernbohrungen inkludiert, welche nach Schätzungen nur die Hälfte der bis dato abgeteuften Bohrungen sein dürften. Im Vergleich dazu schlagen sich die geologischen Kosten, welche sich aus den Kosten für die geologische Kartierung, Bohrkernaufnahme und Modellierung (inkl. Softwarekosten) zusammensetzen, mit 240.000€ zu Buche. Diese setzen sich aus insgesamt 5.000 Mannstunden (á 45 Euro) und den Surpac Vision Lizenzkosten von 15.000€ zusammen.

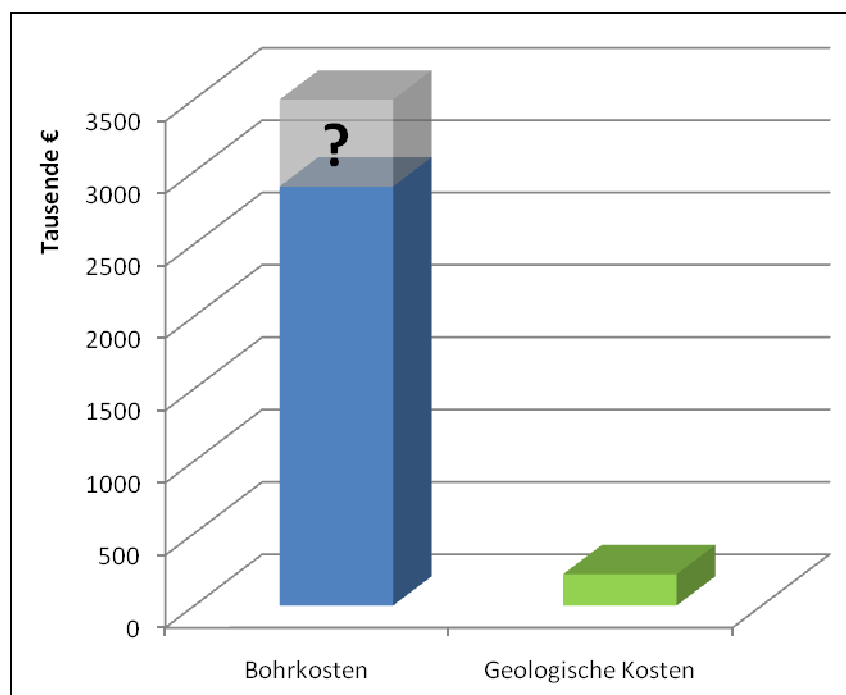


Abb. 86: Kostenvergleich Kernbohrkosten versus geologische Kosten

Dies sollte zum Ausdruck bringen, dass die auftretenden geologischen Kosten im Vergleich zu dessen Nutzen und Informationsgewinn relativ gering sind. In anderen Worten ausgedrückt bedeutet dies, dass ab 10% eingesparter Kernbohrungen bereits alle geologischen Kosten abgedeckt sind.

Die durch den GEOrganizer neu geschaffene Möglichkeit der standardisierten und strukturierten Dokumentation von geologischen Daten hilft in Zukunft, Datenverluste zu vermeiden und somit die für die Erhebung angefallenen Kosten in verwertbare Informationen zur Entscheidungsfindung und Interpretation umzuwandeln.

12 Ergebnisse und Ausblick

Im Zuge dieser Diplomarbeit konnte der Grundstein für eine solide Speicherung und Dokumentation geologischer Daten gelegt werden. Es wurden verfügbare geologische Karten digitalisiert und in einem 3d-Lagerstättenmodell zusammengefasst. Weiters wurde eine zentrale Datenverwaltung namens GEOrganizer geschaffen, welche alle geologisch relevanten Informationen zentral speichert sowie eine komfortable Möglichkeit bietet, neu erhobene Daten schnell und standardisiert einzutragen respektive zu aktualisieren. Ferner ist es nun möglich, die im GEOrganizer gespeicherten Raumdaten wie Kernbohrungen, Hammerbohrungen und Gefügedaten dreidimensional mit Hilfe der Bergbauplanungssoftware Surpac Vision darstellen zu lassen sowie diese zur weiteren Bearbeitung und Interpretation zur Verfügung zu stellen. Daten des GEOrganizers können außerdem einfach exportiert (für weitere externe Anwendungen wie z.B. AutoCad) oder auch ausgedruckt werden.

Die strukturierte Aufarbeitung und zusätzliche selektive Aufnahme geologischer Daten führte zu einem Wissenszuwachs und besseren Verständnis bezüglich der tektonischen und geologischen Verhältnisse innerhalb der Lagerstätte Waldenstein. Es konnte festgestellt werden, dass die Erzkörper tiefgreifende, steilstehende Strukturen bilden und von Störungen abgegrenzt und somit kontrolliert werden. Es ist anzunehmen, dass diese wichtigen Störungen auch als Zufuhrkanäle für erzführende Lösungen dienen. Größere Eisenglimmerkörper sind außerdem fast ausschließlich am Kontakt Gneis / Marmor zu finden was allerdings nicht bedeutet, dass jeder Kontakt Gneis / Marmor eine Vererzung vorweist. Hier scheint die Kombination mit Störungen eine wichtige Rolle zu spielen. Diese Erkenntnisse sind unter anderem der Schlüssel für zukünftige, erfolgreiche Explorationstätigkeiten. Durch die 3d-Modellierung sowie Erstellung einer zentralen geologischen Datenbank (GEOrganizer) ist eine zielorientierte Planung und Steuerung nicht nur von Explorations- sondern auch Abbau- und Vortriebstätigkeiten möglich. Voraussetzung dafür ist allerdings der ständige und disziplinierte Einsatz des GEOrganizers sowie der dazu angepassten und neu entwickelten Protokolle und Richtlinien (Kapitel 8.4.1 bis 8.4.3).

Außerdem bilden der GEOrganizer und das 3d-Lagerstättenmodell wichtige Instrumente zur Erfüllung von montangeologischen Informationspflichten gegenüber Behörden und helfen somit, sicher Bergbau zu betreiben.

Es wird vorgeschlagen, zukünftig im Anschluss an Kartierungsarbeiten (jährlich im Zuge der Lehrveranstaltung „Montangeologische Aufnahme“ der Montanuniversität Leoben) die neu erhobenen geologischen Karten unverzüglich zu digitalisieren und in das Lagerstättenmodell sowie in den GEOrganizer aufzunehmen, um diese erstens zu dokumentieren und zweitens für neue Analysen und Auswertungen zur Verfügung zu stellen. Je aktueller das 3d-Lagerstättenmodell, desto besser, weshalb dessen Pflege und Ergänzung für die Zukunft sichergestellt und organisiert werden muss.

Der GEOrganizer, bei dem es sich um eine Access – Datenbankanwendung handelt, kann bei Bedarf an Funktionen erweitert sowie optimiert werden. Ob dies notwendig ist, wird sich im Laufe der Zeit, in der Erfahrung im Umgang mit dem GEOrganizer gesammelt werden kann, zeigen. Zukünftig könnten auch Daten wie Wasserzutritte, -mengen und Ankerstrecken etc. im GEOrganizer erfasst und verwaltet werden (Stichwort Georisikomanagement und –

abschätzung). Weiters wäre eine Vorort-Erhebung, Aktualisierung und Analyse der nun digital vorhandenen Daten mittels wasserfestem Tablet – PC (z.B. Panasonic Toughbook H1 Field oder, Motioncomputing Motion J3400) denkbar.

Literatur

- AWAD, I. M. A. (1983): The Waldenstein Specularite Deposit, Carinthia, Austria. Geology, metamorphism and genesis. -Diss., Montanuniv. Leoben, 222 S., Leoben.
- BECK-MANNAGETTA, P. (1970): Über den geologischen Aufbau der Koralpe: Einführung zur Wandertagung der geologischen Gesellschaft in Wien im Mai 1970, Route: Koralpe, Ost. -Verh. Geol. B.-A., H. 3: 491–496, Wien.
- EBNER, F. (1997): Die geologischen Einheiten Österreichs und ihre Rohstoffe. -In: WEBER, L. (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. -Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., Band 19: 49–229, Wien.
- EHLERS, K.; POWELL, K. & STÜWE, K. (1994): Cooling rate histories from garnet + biotite equilibrium. -American Mineralogist, Vol. 79: 737–744.
- EHLERS, K.; STÜWE, K.; POWELL, K.; SANDIFORD, M. & FRANK, W. (1995): Thermometrically inferred cooling rates from the Plattengneis, Koralm region, Eastern Alps. -Earth and Planetary Science Letters, Vol. 125: 307–321.
- FRANK, W. (1987): Evolution of the Austroalpine elements in the Cretaceous. -In: FLÜGEL, H.W.; FAUPL, P. (1987): Geodynamics of the Eastern Alps, Deuticke, 379–406, Vienna.
- FRANK, W.; ESTERLUS, M.; FREY, M.; JUNG, G.; KROHE, A. & WEBER, J. (1983): Die Entwicklungsgeschichte von Stub- und Koralpenkristallin und die Beziehung zum Grazer Paläozoikum. Die frühalpiner Geschichte der Ostalpen, Band 3: 263–293.
- FRIEDRICH, O. M. (1929): Die Siderit - Eisenglimmer - Lagerstätte von Waldenstein in Ostkärnten. -Berg- und Hüttenmänn. Jb., Band 77/4: 131-145, Wien.
- FRISCH, W. & NEUBAUER, F. (1989): Pre-Alpine terranes and tectonic zoning in the Eastern Alps. Geol. Soc. Amer., Spec. Pap., 230: 91-100.
- GÖRNE, S. & KRENTZ, O. (2007): Nutzung großer Punktdatenmengen für die 3D-Geomodellierung. http://tu-freiberg.de/fakult3/geo/mageo/konferenz_2007_bht/Goerne.pdf.
- HABLER, G. & THÖNI, M. (2001): Preservation of Permo–Triassic low-pressure assemblages in the Cretaceous high-pressure metamorphic Saualpe crystalline basement (Eastern Alps, Austria). -J. metamorphic Geol., 19: 679-697.
- HERITSCH, H. (1980): Ein feingeschichteter Tuffit vom Rechberg bei Frohnleiten (Steiermark) und die Berechnung seiner Metamorphose in der Cyanit-Almandin-Muskovit-Subfazies. -Mitt. Naturwiss. Ver. Stmk., 110: 13–22, Graz.
- HOINKES, G.; KOLLER, F.; RANTITSCH, G.; DACHS, E.; HÖCK, V.; NEUBAUER, F. & SCHUSTER, R. (1999): Alpine metamorphism of the Eastern Alps. -Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 79: 155–181.
- HÖSER, C. & JAKOB, A. (2006): SketchUp für Geologen. www.geokachel.de.
- KOBER, L. (1938): Der geologische Aufbau Österreichs. Springer. Wien.

- KROHE, A. (1987): Kinematics of Cretaceous nappe tectonics in the Austroalpine basement of the Koralpe region (eastern Austria). -Tectonophysics, 136: 171–196.
- KROHE, A. & FRANK, W. (1981): Gesteine vom Koralmtypus mit Plattengneistektonik bei Steinbach/Burgenland. –Hochschulschwerpunkt S15, Teilprojekt 15/02, Jahresbericht 2: 18–20, Graz – Leoben.
- KURZ, W.; FRITZ, H.; TENCZER, V. & UNZOG, W. (2002): Tectonometamorphic evolution of the Koralm Complex (Eastern Alps): constraints from microstructures and textures of the "Plattengneis" shear zone. -Journal of Structural Geology, Vol. 24: 1954–1970.
- LINTSCHNIG, M. (1992): Montangeologische Untersuchungen im Bereich der -Lagerstätte Waldenstein, Kärnten. -Dipl. Arbeit, Montanuniv. Leoben, 97 S., 1 Kte., Leoben.
- MILLER, C. (1990): Petrology of the type locality eclogites from the Koralpe and Saualpe (Eastern Alps), Austria. - Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 70: 287–300.
- MILLER, C. & FRANK, W. (1983): Das Alter der Metamorphose von Metabasiten und Eklogiten in Kor- und Saualpe. -Jahresber. 1982 Hochschulschwerpunkt S15, 229–236.
- MILLER, C. & THÖNI, M. (1995): Origin of eclogites from the Austroalpine Ötztal basement (Tirol, Austria): Geochemistry and Sm-Nd vs. Rb-Sr isotope systematics. -Chemical Geology, 122: 199–225.
- MILLER, C. & THÖNI, M. (1997): Eo-Alpine eclogitization of Permian MORB-type Gabbros in the Koralpe (Eastern Alps, Austria): new geochronological, geochemical and petrological data. - Chemical Geology, 137: 283–310.
- MORAU, W. (1980): Die permische Differentiation und die alpidische Metamorphose des Granitgneises von Wolfsberg, Koralpe, SE-Ostalpen, mit Rb–Sr- und K–Ar-Isotopenbestimmungen. Mineralogy and Petrology, Vol. 27: 169–185.
- MORAU, W. (1982): Rb-Sr- und K-Ar-Evidenz für eine intensive alpidische Beeinflussung der Paragesteine in Kor- und Saualpe, SE-Ostalpen, Österreich. –Tschermarks Min. Petr. Mitt, 29: 255–282.
- NEUBAUER, F. & GENSER, J. (1990): Architektur und Kinematik der östlichen Zentralalpen – eine Übersicht. –Mitt. nat.wiss. Ver. Stmk., 120: 203 – 219, Graz.
- PIRKL, H. (1976): Lagerstättenkundlicher Bericht 1975 über Untersuchungen beim Bergbau Waldenstein auf Blatt 188, Wolfsberg (Koralpe). -Verh. Geol. B.-A., 1, A 167, Wien.
- PROCHASKA, W. (1991): Beispiele für alpidisch-hydrothermale Lagerstättenbildung in den Ostalpen. -Mitt. nat.wiss. Ver. Stmk., 121: 129–148, Graz.
- PROCHASKA, W.; POHL, W.; BELOCKY, R. & KUCHA, H. (1995): Tertiary metallogenesis in the Eastern Alps: the Waldenstein hematite deposit (Austria). -Geologische Rundschau, Vol. 84: 831–842.
- RATSCHENBACHER, L.; FRISCH, W.; NEUBAUER, F.; SCHMID, S. M. & NEUGEBAUER, J. (1989): Extension in compressional orogenic belts: The Eastern Alps. -Geology, Vol. 17: 404–407.
- SCHMID, S. M.; FÜGENSCHUH, B.; KISSLING, E. & SCHUSTER, R. (2004): Tectonic map and overall architecture of the Alpine orogen. -Eclogae Geologicae Helvetiae, Vol. 97: 93–117.

- SCHULZ, O. (1986): Die ostalpinen Lagerstätten mineralischer Rohstoffe in der Sicht neuer Forschungsergebnisse, Schlußbericht für den Forschungsschwerpunkt S 21/01 der Österreichischen Rektorenkonferenz "Lagerstättenforschung" (1979-1984), -Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., Band 7: 257-287, Wien.
- SCHUSTER, R. (2003): Das eo-Alpine Ereignis in den Ostalpen: Plattentektonische Situation und interne Struktur des Ostalpinen Kristallins. -Arbeitstagung Geol. B.-A. 2003, 141-159.
- SCHUSTER, R.; SCHMIDT, K.; FRANK, W. & SCHARBERT, S. (1999): Tectonic inversion of the Eoalpine metamorphism in the Seckau-Gleinalm-Koralpe transect (Styria, Austria). -Beih. European J. Min. 11/1: 208, Stuttgart.
- STÜWE, K. & POWELL, K. (1995): P-T Pahts from modal proportions: applications to the Koralm Complex, Eastern Alps. -Contributions to Minerology and Petrology, Vol. 119: 83-93.
- THÖNI, M. & JAGOUTZ, E. (1992): Some new aspects of dating eclogites in orogenic belts: Sm-Nd, Rb-Sr and Pb-Pb isotopic results from the Austroalpine Saualpe and Koralpe type-locality (Carinthia/Styria, SE Austria). -Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 56: 347-368.
- THÖNI, M. & JAGOUTZ, E. (1993): Isotopic constraints for eo-Alpine high-P metamorphism in the Austroalpine nappes of the Eastern alps: bearing on Alpine orogenesis. -Schweiz. mineralog. petrogr. Mitt., 73: 177-189.
- TOLLMANN, A. (1977): Die Zentralalpen. -Geologie von Österreich, Band 1, 766 S., Wien.
- WEBER, L. (1997): Handbuch der Lagerstätten der Erze, Industriemineralien und Energierohstoffe Österreichs. -Arch. f. Lagerst.forsch. Geol. B.-A., Band 19: 293-295, Wien.
- WEISSENBACH, N. (1975): Kristallisation, Deformation und Polymetamorphose im Saualpenkristallin. -Clausthaler geol. Abh., Sonderbd. 7: 131-141.

Anhang

I) Geologische Karten

| | |
|--|-----------|
| Detailkartierung 2008 (Maßstab 1:100, Format A3) | 14 Seiten |
| Übersichtskartierung 2009 (Maßstab 1:200, Format A3) | 7 Seiten |
| Übersichtskarten aller Horizonte 2009 (Maßstab 1:400, Format A3) | 10 Seiten |

II) Protokolle & Richtlinien

| | |
|--|----------|
| Kernbohrprotokoll mit Deckblatt (Format A4) | 2 Seiten |
| Hammerbohrprotokoll (Format A4) | 1 Seite |
| Richtlinie zur Bohrloch- und Kernkistenbezeichnung (Format A4) | 1 Seite |
| Bohrkernaufnahmeblatt detaillierte Geologie (Format A4) | 1 Seite |

III) Legenden

| | |
|---|----------|
| Geologische Farbkodierungstabelle (Format A4) | 2 Seiten |
| Geologische Abkürzungstabelle Bohrkerne (Format A4) | 1 Seite |

IV) DVD

| | |
|---------|--|
| Inhalt: | Originalfiles Geologische Karten |
| | Originalfiles Protokolle und Richtlinien |
| | Originalfiles Legenden |
| | Surpac Installationsfiles |
| | 3d-Lagerstättenmodell & Grube (Surpac-Files) |
| | GEOrganizer (Access-Datenbankanwendung) |
| | Fotos (Bohrkerne, etc.) |
| | Betriebspläne |
| | Probendaten |
| | Kartierungsdaten |

Anhang I

Anhang II

Anhang III

